

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**FACULTAD DE MEDICINA**

**Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria**



**TESIS DOCTORAL**

**Predicción mediante productos de distorsión de hipoacusia en  
trabajadores expuestos al ruido en el Hospital General  
Universitario Gregorio Marañón**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR**

**PRESENTADA POR**

**Marco Javier Marzola Payares**

**Directores**

**César Borobia Fernández  
María José Aguado Benedí  
Carlos Martín Oviedo**

**Madrid 2018**

# UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE MEDICINA

DEPARTAMENTO DE TOXICOLOGÍA Y LEGISLACIÓN SANITARIA.



TESIS DOCTORAL

**Predicción mediante productos de distorsión de hipoacusia en  
trabajadores expuestos al ruido en el Hospital General Universitario  
Gregorio Marañón**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

**Marco Javier Marzola Payares**

Directores:

- Dr. D. César Borobia Fernández.
- Dra. Dña. María José Aguado.
- Dr. D. Carlos Martín Oviedo.

**Madrid, Abril 2017.**

©Marco Javier Marzola Payares, 2017.

Tesis Doctoral. Marco Javier Marzola Payares.

# UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

## FACULTAD DE MEDICINA

### Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria



#### TESIS DOCTORAL

### **Predicción mediante productos de distorsión de hipoacusia en trabajadores expuestos al ruido en el Hospital General Universitario**

**Gregorio Marañón**

**Marco Javier Marzola Payares**

Directores:

- Dr. D. César Borobia Fernández.
- Dra. Dña. María José Aguado.
- Dr. D. Carlos Martín Oviedo.

**Madrid, Abril 2017.**



## Directores de Tesis:

➤ Dr. César Borobia Fernández:

Doctor en Medicina. Director de la Escuela Profesional de Medicina del Trabajo, Facultad de Medicina, Universidad Complutense de Madrid.

➤ Dra. María José Agudo:

Doctora en Medicina. Profesora Asociada del Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria, Facultad de Medicina, Universidad Complutense de Madrid.

➤ Dr. Carlos Martín Oviedo:

Doctor en Medicina, Médico adjunto y tutor de residentes de Otorrinolaringología, Hospital General Universitario Gregorio Marañón.

## Dedicatoria.

A mi esposa Esperanza, a mi madre Liney, a mi padre Marco y a  
mi familia por estar siempre ahí y creer en mí.

A mi hijo Emiliano por ser mi gran ilusión y motor para la vida.

Al Sinú.

## Agradecimientos.

A la Dra. Gracia Arenguez Moreno por su ayuda, confianza y  
motivación.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	8
1.1 Contexto histórico y actual de la hipoacusia inducida por ruido.	8
1.2 El ruido sus características y determinantes del riesgo.	10
1.3 El oído. Anatomía y exploración.	16
1.4 La hipoacusia Inducida por ruido (HIR).	23
1.5 Productos de distorsión/otoemisiones acústicas (DPOAE).	35
1.6 Legislación	42
<b>2. JUSTIFICACIÓN.</b>	47
<b>3. HIPÓTESIS.</b>	49
<b>4. OBJETIVOS.</b>	51
<b>5. MATERIAL.</b>	53
<b>6. MÉTODO.</b>	57
<b>7. RESULTADOS.</b>	66
7.1 Estadística descriptiva.	66
7.2 Estadística descriptiva, exploratoria y confirmatoria.	69
<b>8. DISCUSIÓN</b>	95
<b>9. CONCLUSIONES.</b>	102
<b>10. RESUMEN</b>	104
<b>11. ABSTRACT</b>	114
<b>12. BIBLIOGRAFÍA</b>	123

## **INTRODUCCIÓN**



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Contexto histórico y actual de la Hipoacusia inducida por ruido.

La pérdida de la audición relacionada con las actividades laborales sigue siendo un asunto crítico en la salud y seguridad ocupacional.

El ruido aparece como fenómeno social en la Edad de los Metales, originando las primeras hipoacusias profesionales. Actualmente, aunque la agresión sonora rebasa el límite del mundo laboral, la hipoacusia profesional sigue siendo un problema de salud no solucionado (1).

Siendo sin lugar a dudas el primer factor contaminante que ha sido denunciado por la humanidad. En el siglo IV antes de Jesucristo ya se dictaban normas encaminadas a reducir los niveles sonoros producidos por los artesanos y canteros (2). Las primeras referencias específicas sobre el daño a la audición humana causada por ruido se encuentran recogidas en el Régimen Sanitatis Salerenitanum que fue escrito en el año 1150 de nuestra era, lo que hace pensar que los efectos nocivos del ruido ya eran conocidos desde la época en que la industria existente era sólo artesanal. En 1713 Bernardo Ramazzini escribió en su obra "De Morbis Artificum Diatriba" que los trabajadores del cobre perdían la audición a causa del martillo sobre el metal, motivo por el cual, aquellas personas que llegan a viejo haciendo el mismo trabajo expuestos a ruido, terminarían siendo sordas por completo (2,3).

La carrera tecnológica ha continuado, el desarrollo de las cadenas de montaje en las grandes empresas, la creación de nuevas maquinarias, la construcción e industrialización en general prosigue, con el subsecuente aumento de la contaminación ambiental por ruido, llegando al punto de convertir a la hipoacusia inducida por ruido un problema de salud pública mundial que se incrementa, conjuntamente con el avance de la civilización (4).

Se estima que 30 millones de trabajadores a nivel mundial están expuestos a niveles de ruido suficientemente altos como para causar pérdida de audición irreversible, según el Instituto de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) de estados unidos (5,6).

En el Reino Unido hay más de 2 millones de personas expuestas de forma regular a ruidos intensos en el trabajo, de las cuales 1,1 millones están expuestas a niveles superiores a 85 dB(A), donde existe un importante riesgo para la salud (7,8).

Aproximadamente 170.000 personas en la unión europea, sufren de sordera, tinnitus, u otras afecciones auditivas como consecuencia de ello. En el grupo de edad de 35 a 64 años, hay 153.000 hombres y 26.000 mujeres que presentan dificultades auditivas graves atribuibles al ruido en el trabajo. Las dificultades auditivas graves suponen un 11,9 % en todas las profesiones (5 % en el caso de la construcción). Las reclamaciones por sordera laboral a los seguros de responsabilidad de los empresarios alcanzan la cifra de 60.000 al año, es decir, el 83 % de todas las reclamaciones por accidentes de trabajo, mientras que constituye aproximadamente el 10 % de todas las solicitudes de reclamación de ayuda financiera del gobierno (7,8,9).

En España, el ruido es el contaminante ambiental más frecuente encontrado en el conjunto de todos los sectores de la actividad laboral como hecho destacado en la VII Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo del 2011 (10).

Según las estadísticas de enfermedades profesionales declaradas ante el Ministerio de Trabajo en los últimos 10 años, ocupa el tercer lugar de frecuencia después de la tendinopatias por sobre uso y neuropatías periféricas secundarias presión (10,11).

## 1.2 El ruido, sus características y determinantes del riesgo.

### Definiciones:

**Ruido:** El ruido se ha definido como un sonido desagradable o no deseado. Generalmente está compuesto por una combinación no armónica de sonidos.

A su vez, el sonido es una perturbación física que se propaga en un medio elástico produciendo variaciones de presión o vibración de partículas que pueden ser percibidas por el oído humano o detectadas mediante instrumentos. El sonido se propaga en forma de ondas transportando energía, más no materia (12).

**Ruido aleatorio:** Aquel cuya diferencia entre los valores máximo y mínimo de nivel de presión acústica ponderada A (LpA) sea superior o igual a 5 dB y varíe aleatoriamente a lo largo del tiempo.

**Ruido estable:** Aquel cuyo nivel de presión acústica ponderada A (LpA) permanece esencialmente constante (esto es, cuando la diferencia entre los valores máximo y mínimo sea inferior a 5 dB).

**Ruido de impacto:** Aquel de una duración menor a un segundo y cuyo nivel de presión acústica decrece exponencialmente con el tiempo.

**Ruido periódico:** Aquel cuya diferencia entre los valores máximo y mínimo de LpA sea superior o igual a 5 dB y sea de cadencia cíclica.

**Sonido complejo:** Aquel compuesto por tonos de diferentes frecuencias y amplitudes.

**Sonido puro o simple:** Aquel de oscilación sinusoidal (al que corresponde una sola frecuencia) y que puede representarse matemáticamente por una fluctuación de la presión de forma (12,13):

$$p=A*\text{sen} [(2 \pi t /T)+\varphi]$$

Dónde: “p” es el valor instantáneo de la presión;

“A” es la amplitud de la oscilación de la onda;

“t” es el tiempo;

“T” es el período;

“φ” es el ángulo de fase inicial.

**Cualidades del sonido son:** la intensidad (grado de energía de la onda), el tono (dado por la frecuencia en la que vibra) y el timbre (relacionado con los armónicos que en un sonido complejo suelen acompañar a la frecuencia fundamental y que viene a ser el modo propio y característico de sonar) (12).

A efectos prácticos se tendrán en cuenta:

- Su pureza: un sonido puro es más peligroso para el oído;
- Su duración: el efecto adverso del ruido es directamente proporcional a la duración de la exposición.

Intensidad: Grado de energía de la onda sonora. Su definición física exacta es: valor promedio en el tiempo del producto de la presión (fuerza aplicada a la unidad de superficie) con la velocidad lineal de vibración (velocidad de desplazamiento de las partículas dada por la presión sonora); se mide en ergios por segundo a través de un centímetro cuadrado normal a la dirección de propagación, también en  $W/m^2$ , o incluso en pascas (Pa) (12,13).

Si la cuantificación de la presión acústica la hiciésemos en  $W/m^2$  deberíamos usar una escala que recorrería desde 1 hasta  $1.014$ , y si esa escala fuese en pascas recorrería otra de 200.000.000 de unidades y por ello —dada su poca operatividad— se utiliza corrientemente el decibelio.

El decibelio (dB) no es una unidad de medida absoluta, sino una unidad adimensional que expresa la diferencia entre dos niveles de intensidad y que es igual a 10 veces el logaritmo decimal de la relación entre una cantidad dada y otra que se toma como referencia [ $L = 10 \log_{10} (I : I_0)$ ], normalmente esa referencia es la correspondiente al umbral de audición de 1.000 Hz con una presión de 20  $\mu Pa$  (o 10-12  $W/m^2$ ), que es la menor presión acústica audible para un oído joven y sano, siendo así su valor en la escala logarítmica 0 dB. Para poder establecer el riesgo de lesión auditiva con la mayor precisión posible, es necesario que el sonómetro que registre el ruido lo haga de una manera similar a como lo hace el oído humano, y, para ello, se pueden utilizar filtros diferentes, siendo el filtro de tipo «A» el que logra un registro casi idéntico al que percibe el oído humano, atenuando de forma importante los sonidos de frecuencias bajas (<500 Hz), respetando la frecuencia de 1.000 Hz, aumentando algo entre 2.000 y 4.000 Hz, y volviendo a atenuar las frecuencias altas (>8.000 Hz); la medida registrada por los sonómetros equipados con ese filtro se expresa en dBA (12,13).

**Características propias de las ondas sonoras (12,13):**

- Longitud de Onda: Distancia entre dos máximos o mínimos de presión sucesivos.
- Amplitud: Máximo desplazamiento que sufre una partícula en vibración o máxima presión en un ciclo.
- Período: Tiempo en que se efectúa un ciclo completo y está dado en segundos u otra unidad de tiempo.
- Frecuencia: Número de ciclos por unidad de tiempo, sus unidades son generalmente ciclos por segundo o Hertz (Hz); así, un número alto de ciclos por segundo dará lugar a un tono agudo y un número bajo a un tono grave.
- Los sonidos audibles tienen una frecuencia comprendida entre 16 y 20.000Hz o ciclos por segundo (cps); por encima y por debajo de estas frecuencias se localizan los ultrasonidos y los infrasonidos, respectivamente. La frecuencia está relacionada con el período según la fórmula:  
$$f = 1 / T$$
- Velocidad de propagación: Distancia que recorre una onda en un determinado medio (sólido, líquido, gas) en un período de tiempo especificado. Para fines prácticos la velocidad de propagación del sonido en el aire se ha estimado en 340 metros por segundo.

Las propiedades del ruido asociadas a la fisiopatología de la hipoacusia según Gunn, 1998; NIOSH, 1998; ISO, 1999; WHO, 1999, (12,13,14) son las siguientes:

- Nivel de presión sonora. La presión sonora es la característica que permite oír un sonido a mayor o menor distancia e indica la cantidad de energía que transporta el sonido para su propagación. Esta presión se referencia con respecto a una presión estándar que corresponde aproximadamente al umbral de la audición a 1.000 Hz. El nivel de presión sonora indica, entonces, qué tanto más fuerte es el sonido que se está midiendo con respecto al mencionado umbral. Puesto que el oído humano tiene la capacidad para detectar una amplia gama de niveles de presión sonora (10 a 102 Pascales), estos niveles se miden en una escala logarítmica cuya unidad son los decibels (dB). A mayor nivel de presión sonora, mayor es la probabilidad del daño auditivo.
  
- Espectro de frecuencias: En general, el ruido se conforma por la unión de sonidos de distinta frecuencia, y su sonoridad depende de las contribuciones relativas de cada una de las frecuencias presentes y de las intensidades de las mismas. La representación gráfica de dicha composición es lo que se denomina espectro de frecuencias. Los ruidos en cuyo espectro de frecuencias predominan los tonos agudos (frecuencias menores a 2.000 Hz).

El tipo de ruido al que se expone el trabajador puede ser (12,14):

- Ruido continuo, como el que se produce en salones de telares o el que produce el motor de un vehículo en marcha. Puede ser estable o inestable.
- Ruido intermitente, como el del lavado con chorro de arena. Puede ser fijo o variable.
- Ruido impulsivo (también llamado de impacto), como el que produce una perforadora o un martillo neumático.

En general, considerando ruidos de intensidades sonoras y espectros de frecuencias similares, el ruido impulsivo es más nocivo que el ruido continuo y éste es más nocivo que el ruido intermitente. No es raro que en un mismo lugar de trabajo coexistan los diferentes tipos de ruido.

### **Interacción de la onda acústica y el medio.**

Los principales fenómenos de interacción entre la onda acústica y su entorno son (12,15):

- Absorción: Al incidir la onda sobre un material, parte de la energía de la onda será disipada dentro del material debido a pérdidas producidas por rugosidades y porosidades.
- Transmisión: Cuando la onda incide sobre una pared parte de la energía es transmitida hacia el otro lado.
- Reflexión: Parte de la energía que incide sobre una superficie es reflejada y el resto es absorbida o transmitida.



### **1.3 El oído. Anatomía y exploración.**

#### **Anatomía del oído (16):**

Oído: Es el órgano responsable de la audición y del equilibrio. Está compuesto por tres zonas;

Oído Externo, Medio e Interno.

a) Oído Externo: Comprende los pabellones auriculares (orejas) y el conducto auditivo externo que en su tercio externo tiene vellos y glándulas sebáceas que secretan cerumen; esta zona es fibrocartilaginosa. El segmento más interior es óseo; no tiene vellos y es más sensible al dolor, lo que conviene tener en cuenta en el momento del examen físico.

b) Oído Medio: Es una cavidad llena de aire que contiene una cadena de tres huesecillos, “martillo, yunque y estribo”; que transmiten el sonido desde la membrana timpánica hasta la ventana oval del oído interno. Se comunica con la nasofaringe a través de la trompa de Eustaquio. El tímpano es una membrana tensa, que tiene una inclinación oblicua y una forma algo cónica hacia adentro por la tracción que ejerce la unión con el mango del martillo. El oído medio también se comunica con las celdas llenas de aire del mastoides.

c) Oído Interno o laberinto: Se sitúa en el interior del peñasco, que forma parte del hueso temporal (conforma el laberinto óseo) y lo forman la cóclea, que participa en la audición, y el vestíbulo con los canales semicirculares, que participan en el equilibrio. La cóclea contiene el órgano de Corti que transmite los impulsos sonoros por la rama auditiva del VIII par craneal. Dentro de las cavidades óseas, se encuentra el laberinto membranoso; formado por un líquido denominado endolinfa. Entre el laberinto óseo y el membranoso existe otro líquido denominado perilinfa. Morfológicamente se diferencia el oído interno tres partes: cóclea o caracol, vestíbulo y tres canales semicirculares. El sistema vestibular está inervado por la rama vestibular del VIII par craneal.

## **Exploración del Oído**

### **Exploración Física del oído (16):**

**Oído externo:** Se examinan los pabellones auriculares; conducto auditivo externo y la membrana del tímpano.

**Otoscopia:** Se utiliza el otoscopio que es un instrumento con una fuente de luz y un juego de espéculos de distinto diámetro. En su parte posterior tiene una lente magnificadora, que se puede retirar o desplazar hacia el lado en el caso que se desee introducir algún instrumento fino. Para efectuar el examen se usa el espéculo de mayor diámetro que calce bien en el conducto auditivo externo y se introduce con una leve inclinación hacia adelante y abajo, hasta ubicar más allá de los vellos. Para examinar el oído derecho, se toma el otoscopio con la mano derecha y se tracciona la oreja con la mano izquierda; lo opuesto es válido para el oído izquierdo. La cabeza del paciente debe estar inclinada un poco hacia el lado opuesto al oído examinado y se debe traccionar la oreja hacia arriba y atrás. Con esto se endereza el conducto y es más fácil ver el tímpano.

En la parte más externa del conducto se observan vellos y frecuentemente alguna cantidad de cerumen. En ocasiones el cerumen tapa totalmente la visión. La membrana timpánica en condiciones normales se ve de color gris perlado translúcido.

Desde el ombligo del tímpano se proyecta hacia abajo y adelante un cono de luz que corresponde al reflejo de la luz del instrumento; hacia arriba se logra distinguir el mango y el proceso corto del martillo, que son las dos referencias anatómicas más constantes. Sobre el proceso corto existe una pequeña porción del tímpano, que habitualmente no se distingue bien, que es la pars flácida; el resto del tímpano corresponde a la pars tensa.

Al mirar la membrana timpánica, se busca si existen perforaciones, abombamiento (por congestión del oído medio), retracciones (en el caso de estar tapado el conducto de Eustaquio) y cicatrices de antiguas perforaciones.

**La Audición:** Oído externo, oído medio y cóclea participan en la audición.

La percepción del sonido, se debe a la vibración de un objeto o material que actúa como un estímulo físico. Los sonidos externos hacen vibrar el tímpano y esta vibración se transmite a través de la cadena de huesecillos al oído interno, en donde se encuentra la cóclea y el órgano de Corti; se generan estímulos eléctricos que viajan a la corteza de los lóbulos temporal (fisura de Silvio). Las vibraciones sonoras pueden llegar al oído interno por transmisión directa a través de los huesos del cráneo (16).

La función principal del oído externo y medio es amplificar el sonido para facilitar la mecanotransducción que realizan las células ciliadas del oído interno; estas células responden a cambios de potencial, por lo cual cambian su longitud. Los estereocilios de las células ciliadas, del órgano de Corti, que descansan sobre la membrana basilar, en contacto con la membrana tectorial sufren deformación por esta onda de movimiento. El desplazamiento de la membrana basilar está regido por la frecuencia con que vibra el sonido estimulante (16).

Las células ciliadas externas e internas están inervadas de forma diferente, ambas son mecanorreceptores, una inervación aferente representada por las células ciliadas internas y una eferente por las externas (16).

### **Valoración de la Audición.**

Se evalúa desde el momento en que el examinador habla con el paciente en la medida que le tenga que repetir las preguntas o que sea necesario hablarle más fuerte, hay que pensar que la audición estaría comprometida.

Evaluación del paciente con alteraciones auditivas (16):

Se debe conocer:

- Naturaleza de la alteración: De conducción o nNeurosensorial.
- Gravedad de la alteración: Leve, moderada, intensa o profunda.
- Anatomía de la alteración: Pabellón auricular, conducto auditivo externo, oído medio, interno, vía auditiva.

Con los datos de la anamnesis se deben definir las características de la hipoacusia; como, la duración, la forma de inicio (súbita o gradual), la velocidad de evolución (rápida o lenta), la lateralidad (unilateral o bilateral). Así mismo, la presencia o ausencia de acufenos, vértigo, alteración del equilibrio, otorrea, cefalalgia, disfunción del nervio facial y parestesias de cabeza y cuello.

## **Estudio de la audición fuera de laboratorio:**

### **Pruebas de Audición con diapasón.**

Los diapasones, al activarlos para que vibren, producen un sonido que depende de su calibración. Para evaluar la audición se utilizan instrumentos que vibren entre 500 y 1.000 ciclos por segundo (Hertz, Hz), aunque el oído normal puede reconocer entre 300 y 3.000 Hz. Diapasones de menores frecuencias (128 Hz) se usan en el examen físico para estudiar la sensibilidad vibratoria y no son los más convenientes para evaluar la audición ya que sobrestiman la conducción ósea.

La prueba de Weber consiste en apoyar el diapasón vibrando en la línea media del cráneo o la mitad de la frente. La vibración, y por lo tanto el sonido, se debe transmitir, en condiciones normales, en igual intensidad a ambos oídos. Si existe un defecto de audición, el sonido se lateraliza. Cuando el defecto es de conducción (por alteración a nivel del conducto auditivo externo o el oído medio) la lateralización es al mismo lado. Cuando el defecto es sensorial (por alteración a nivel del oído interno o el nervio auditivo) la lateralización ocurre hacia el oído sano. Se necesita una diferencia de 5 dB entre uno y otro oído para considerar que existe lateralización (12,16).

La prueba de Rinne consiste en apoyar el diapasón vibrando en la mastoides de un oído y medir el tiempo que la persona escucha el sonido, de esa forma, acto seguido, y sin que deje de vibrar el diapasón, se coloca frente al oído, y se mide el tiempo que la persona escucha de esa otra forma. Lo mismo se repite en el otro oído. Lo normal es que el tiempo que se escucha el sonido por conducción aérea (sin que el diapasón esté apoyado) sea por lo menos del doble de lo que se escucha por conducción ósea (mientras el instrumento está apoyado). Cuando existe un defecto en la conducción aérea, se escucha más tiempo el sonido por conducción ósea. Cuando el defecto es sensorial o neurosensorial, se escucha más tiempo la conducción aérea, pero no el doble que la ósea, como sería lo normal (12,16).

### **Estudio de la audición en el laboratorio:**

**Evaluación Audiológica:** El estudio de la hipoacusia, consiste en la mediación de umbrales de sonido (tonos) puros, umbral de compresión del habla, punto discriminativo, timpanometria, reflejos acústicos (12,16,17).

**Audiometría de tonos puros:** La audiometría de tonos puros evalúa la agudeza auditiva. La prueba está a cargo de un especialista en audiología, se realiza en una habitación con aislamiento acústico. El audiómetro es un dispositivo electrónico que permite la presentación de frecuencias específicas (entre 250 y 8.000 Hz) con intensidades específicas (12,16,17).

En cada oído se definen los umbrales para la conducción a través del aire y del hueso. Los umbrales de la conducción ósea se conocen al colocar el mango de un diapasón en vibración o el oscilador de un audiómetro, en contacto con la cabeza. Cuando existe hipoacusia, el oído no sometido a prueba, se presenta un ruido de amplio espectro para enmascaramiento, de manera que las respuestas estén basadas en la percepción a través del oído que está siendo evaluado (16,17).

El enmascaramiento es la disminución de un sonido para escuchar otro.

La respuesta se mide en dB. Un audiograma es un gráfico de intensidad en decibelios, en el que se compara la intensidad con la frecuencia.

**La timpanometria** valora la integridad de la membrana timpánica y del oído medio frente al sonido, es útil para la identificación y el diagnóstico de los derrames en el oído medio. Un timpanograma es la representación gráfica del cambio de la distensibilidad a medida que se modifica la presión en el conducto auditivo externo.

La distensibilidad que no se modifica con cambios de presión puede sugerir un derrame en oído medio.

Durante la utilización de la técnica, un tono intenso induce contracción del estapedio, detectando su contracción. La presencia o ausencia del reflejo

acústico es importante para la localización anatómica de parálisis del nervio facial y de hipoacusia (16,17).

**Las emisiones otoacústicas** se miden mediante micrófonos sensibles colocados en el conducto auditivo externo. Las emisiones pueden ser provocadas o espontáneas, mediante estimulación del sonido. La presencia de las emisiones otoacústicas, señalan que las células ciliadas externas del órgano de Corti permanente intactas (16).

**Estudios por imagen:** Se recomienda su uso principalmente para descartar alteraciones óseas y para la evaluación del VIII par craneal; un ejemplo de ello es la Tomografía Axial Computarizada del hueso temporal, con cortes finos de 1mm, la cual es adecuada para valorar el calibre del conducto auditivo externo, la integridad de la cadena de huesecillos y afecciones del oído medio y mastoides. Por último, la resonancia magnética que permite valorar afecciones retrococleares (16).

#### **1.4 Hipoacusia Inducida por Ruido (HIR):**

La HIR se define como la disminución de la capacidad auditiva de uno o ambos oídos, parcial o total, permanente y acumulativa, de tipo neurosensorial que se origina gradualmente, durante y como resultado de la exposición a niveles perjudiciales de ruido en el ambiente laboral, de tipo continuo o intermitente de intensidad relativamente alta (> 85 dB) durante un periodo prolongado de tiempo, debiendo diferenciarse del trauma acústico, el cual es considerado más como un accidente que como una verdadera enfermedad profesional. La HIR se caracteriza por ser de comienzo insidioso, curso progresivo y de presentación predominantemente bilateral y simétrica. Al igual que todas las hipoacusias neurosensoriales, se trata de una afección irreversible, pero a diferencia de éstas, la HIR puede ser prevenida (17,18,19,20).

Desde un punto de vista conductual y para su mejor comprensión y adecuado seguimiento audiológico la HIR se puede dividir en cuatro fases o etapas basándonos en las clasificaciones de Azoy y Maduro (19):

**Fase I** (de instalación de un déficit permanente). Antes de la instauración de una HIR irreversible se produce un incremento del umbral de aproximadamente 30-40 dB en la frecuencia 4 kHz. Esta fase tiene como característica que el cese de la exposición al ruido puede revertir el daño al cabo de los pocos días.

**Fase II** (de latencia). Se produce después un periodo de latencia donde el déficit en los 4 kHz se mantiene estable, ampliándose a las frecuencias vecinas en menor intensidad e incrementándose el umbral entre 40-50 dB, sin comprometer aun la comprensión de la palabra, pero ya no hay reversibilidad del daño auditivo. Su descubrimiento reviste importancia en lo concerniente a la profilaxis.

**Fase III** (de latencia subtotal). Existe no solo afectación de la frecuencia 4 kHz sino también de las frecuencias vecinas, se produce un incremento del umbral entre 70-80 dB, acarreado por ende la incapacidad en la comprensión de la palabra.



**Fase IV** (terminal o hipoacusia manifiesta). Déficit auditivo vasto que afecta todas las frecuencias agudas, con compromiso de frecuencias graves y un incremento del umbral a 80 dB o más.

La hipoacusia inducida por ruido debe cumplir las siguientes características *sine qua non* (21):

Características: (según el colegio americano de medicina ocupacional ACOM publicado en 1989).

- Siempre es neurosensorial, por afectación o daño de las células ciliadas externas.
- Siempre es bilateral, los patrones audiométricos son bilaterales y similares.
- Casi nunca produce una pérdida auditiva profunda, por lo general, a bajas baja frecuencia limita sobre 40 dB y el límite de alta frecuencia es de aproximadamente 75 dB.
- No hay progresión de la pérdida auditiva una vez suspendida la exposición al ruido, se queda estable tal como se encontraba durante la exposición.
- La HIR anteriores no hace el oído más sensible a la futura exposición al ruido.
- Las alteraciones tempranas del oído interno reflejan una pérdida a los 3.000, 4.000 y 6.000 Hz. Siendo está más marcada a los 3.000, 4.000, 6.000 Hz que a los 500, 1.000 y 2.000. La mayor pérdida es usualmente a los 4.000 Hz. Las más altas y bajas frecuencias toman más tiempo en verse afectadas.

- Dadas las condiciones de exposición estables, las pérdidas en 3.000, 4.000 y 6.000, por lo general alcanzar el máximo nivel de alrededor de 10 a 15 años.
- La exposición continua al ruido durante años es más dañina que la exposición interrumpida ya que esto permite al oído tener un periodo de descanso.

En 1990 el Instituto Nacional de Salud de Estados Unidos adiciona alguna modificación a estas características:

- En algunos casos se puede objetivar algunos casos de asimetría en las pruebas audiométricas, una lateralización de las alteraciones en el caso de uso de armas de fuego (21).

Adicionalmente desde 1990 la organización internacional de estandarización, publicó su norma ISO 1999, la cual provee modelos matemáticos para la estimación de HIR, teniendo en cuenta edad, sexo, tiempos de exposición al ruido y a sus distintos niveles. La cual podemos ver resumida en la figura 1 y figura 2 (21,22).

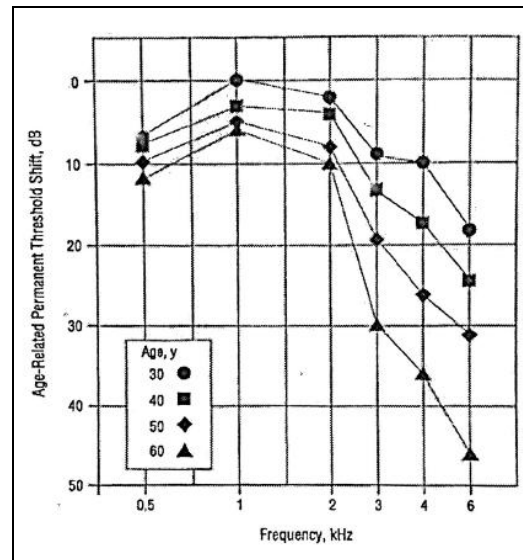


Figura 1, Pérdida auditiva SIN EXPOSICIÓN AL RUIDO según la edad con distribución por frecuencias. International Organization for Standardization. Acoustics: Determination of Occupational Noise Exposure and Estimation of Noise-Induced Hearing Impairment, ISO 1999. Geneva, Switzerland; 1990. (21,22).

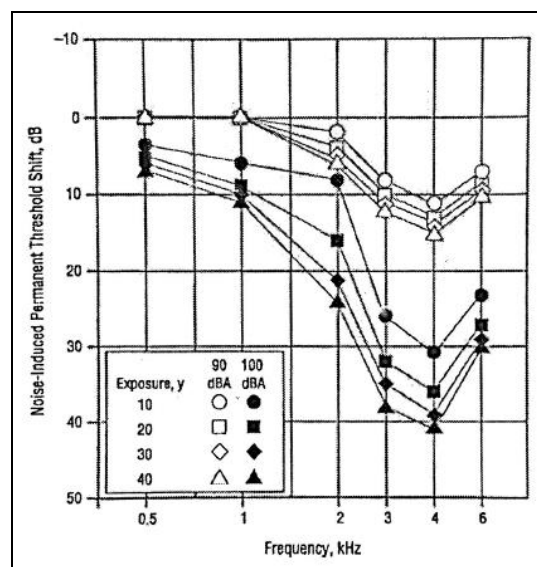


Figura 2, Pérdida auditiva media con la exposición a ruido en un promedio de 8 h diarias por frecuencias, por nivel de ruido primero a 90 y luego a 100 dBA por años de exposición. International Organization for Standardization. Acoustics: Determination of Occupational Noise Exposure and Estimation of Noise-Induced Hearing Impairment, ISO 1999. Geneva, Switzerland; 1990. (21,22).

Según la ISO 1990 (ver figuras 1 y 2) podemos recalcar dos puntos importantes (21,22):

- Primero, La pérdida inducida por ruido desacelera con el tiempo (el mayor porcentaje de pérdida esperada para una exposición de 40 años ya está presente en los primeros 10 años).
- En segundo lugar, el nivel de exposición es muy importante. A los 90 dBA, la media de cambios inducidos por ruido son esperadas como cambios pequeños en frecuencias altas sin esperar un compromiso de frecuencias graves por debajo de los 2.000 Hz.

En 100 dBA, se espera cambios muchos más profundos en las frecuencias agudas que se extienden progresivamente a todo el rango de frecuencias incluidas las graves.

Almeida y colaboradores (23), en su trabajo estudiaron las características clínicas y audiométricas de la hipoacusia neurosensorial ocupacional por ruido, de acuerdo al grupo etario y años de exposición al ruido, concluyendo que esta aumenta en relación a la edad y al tiempo de exposición al agente nocivo, presentándose desde la primera década, proponiendo además que estas pérdidas auditivas llevan un patrón gradual en relación con la frecuencia:

- Primer decenio de exposiciones:

Inicialmente se afectada la frecuencia 4.000 Hz, seguida por los 6.000 Hz y en tercer lugar, presentando un deterioro similar los 8.000 Hz y 3.000 Hz.

➤ Segundo decenio de exposiciones:

Continúa el menoscabo progresivo de los 4.000 Hz, el cual ahora se extiende por igual a los 6.000 Hz (deterioro similar), en segundo lugar, de afectación los 3.000 Hz y por último los 8.000 Hz.

➤ Exposición tercer decenio:

Afectación continua y similar de los 4.000 Hz y 6.000Hz, ahora en segundo lugar se establece pérdidas iguales a los 3.000 Hz y 8000 Hz.

Exhibiendo con este patrón, la extensión de la pérdida auditiva que inicia en los 4.000 Hz y con el paso de los años se propaga hasta afectar el resto frecuencias agudas y graves, fisiopatogenia que explica la ausencia de síntomas percibidos por el paciente. El compromiso de las frecuencias conversacionales es tardío, por esta razón las hipoacusias inducidas por ruido tienen un diagnóstico retardado e irreversible, si no existen las medidas preventivas adecuadas.

## Patogenia

### Mecanismos favorecedores del daño por ruido (19)

**Teoría de los microtraumas:** Los picos del nivel de presión sonora de un ruido constante conducen a la pérdida progresiva de células, con la consecuente eliminación de neuroepitelio en proporciones crecientes.

**Teoría bioquímica.** Postula que la hipoacusia se origina por las alteraciones bioquímicas que el ruido desencadena y conlleva a un agotamiento de metabolitos y en definitiva a la lisis celular. Estos cambios bioquímicos son: disminución de la presión de O<sub>2</sub> en el conducto coclear; disminución de los ácidos nucleicos de las células; disminución del glucógeno, ATP; aumento de elementos oxígeno reactivos (ROS), como los superóxidos, peróxidos, y radicales de hidroxilo, que favorecen el estrés

Tesis Doctoral. Marco Javier Marzola Payares.

oxidativo inducido por ruido; disminución de los niveles de enzimas que participan en el intercambio iónico activo (Na(+),K(+)-ATPasa y Ca(2+)-ATPasa).

**Teoría de la conducción del calcio intracelular.** Se sabe que el ruido es capaz de despolarizar neuronas en ausencia de cualquier otro estímulo. Estudios recientes al respecto han demostrado que las alteraciones o distorsiones que sufre la onda de propagación del calcio intracelular en las neuronas son debidas a cambios en los canales del calcio. Los niveles bajos de calcio en las células ciliadas internas, parece intervenir en la prevención de la HIR.

**Mecanismo mediado por macrotrauma.** La onda expansiva producida por un ruido discontinuo intenso es transmitida a través del aire generando una fuerza capaz de destruir estructuras como el tímpano y la cadena de huesecillos.

### **Mecanismos protectores del daño por ruido (19)**

**Mecanismo neural.** Estudios en cobayas confirman la hipótesis de que el sistema eferente coclear está involucrado en los mecanismos que subyacen en el "efecto de endurecimiento" a las altas frecuencias. Este efecto se define como una reducción progresiva del umbral cuando exposiciones repetidas a un mismo ruido son aplicadas. La neurectomía vestibular realizada a través de la fosa posterior, asegurando la interrupción de las fibras olivococleares cruzadas y no cruzadas en un solo oído, antes de su entrada en el canal auditivo, origina hipoacusia por exposición a ruido, comparado con el oído contralateral no operado.

**Mecanismo antioxidativo:** La ausencia de sustancias antioxidantes como las superóxido dismutasas (CuZn-SOD) y glutatión potencian el daño inducido por ruido. Estas ejercen un mecanismo protector sobre la cóclea.

**Mecanismo de acondicionamiento del sonido.** Se continúan acumulando evidencias que demuestran la importancia de la reducción de los efectos deletéreos del trauma acústico por acondicionamiento del sonido, este es un proceso de exposición a niveles bajos de ruido no dañino, para crear efectos protectores a largo plazo en detrimento de las formas perjudiciales subsecuentes de trauma acústico. Diferentes paradigmas de sonido condicionado han sido probados con éxito para prevenir los cambios patológicos del sistema auditivo.

### **Manifestaciones clínicas**

La HIR requiere cuidadoso estudio de toda la información disponible, desde la anamnesis y la exploración clínica y los datos obtenidos en mediciones audiométricas. La anamnesis, no sólo debe incluir información médica y física del sujeto sino también una cuidadosa investigación sobre exposición personal al ruido (20,21).

Está conformada por síntomas auditivos, como hipoacusia, *tinnitus* y vértigo (habitualmente los artículos publicados plantean que el ruido no produce efectos adversos sobre el sistema vestibular. Estudios recientes plantean la existencia de trastornos vestibulares en hipoacusias asimétricas, estando ausentes en las hipoacusias simétricas). Otros plantean que el ruido de impulso origina deterioro del sistema vestibular, principalmente del órgano otolítico.

Entre los efectos no auditivos se destacan: hipertensión arterial, taquicardia, taquipnea, hiperacidez, disminución del apetito, interferencia en la comunicación hablada, puede causar distracción y mayor propensión a sufrir accidentes de trabajo, disminución en el desempeño laboral, incremento del nivel personal de estrés, irritabilidad y alteraciones del sueño (21,22).

## **Pruebas diagnósticas**

Las pruebas diagnósticas revisten una gran importancia para el estudio, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación del paciente; en este trabajo se abordarán los más frecuentemente utilizados en la práctica audiológica y de la medicina del trabajo, con un enfoque de las técnicas diagnósticas más novedosas disponibles en la actualidad (22).

### **Audiometría tonal liminar**

Examen por el cual se determina el grado o extensión de la pérdida auditiva. El objetivo es obtener los umbrales para las notas puras de tono o frecuencia variable de la vía aérea y ósea. Se registra en una gráfica, audiograma, que muestra el nivel del umbral de la audición de un individuo en función de la frecuencia (Hz) y la intensidad (dB). La función de la audiometría no se limita solo a la mera obtención de umbrales de audibilidad, sino que esta tiene un amplio uso en la prevención, en el diagnóstico, en la terapéutica y en el seguimiento evolutivo de las pérdidas auditivas, lo que permite en ocasiones realizar un diagnóstico etiológico de ellas (22).

**Periodicidad de las audiometrías:** Basado en las recomendaciones del REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. BOE nº 60 11-03-2006.

### **Potenciales evocados auditivos de tallo cerebral (PEATC)**

Prueba electrofisiológica, de la respuesta cerebral a un estímulo dado. Diferencia el origen de la hipoacusia neurosensorial (coclear o retrococlear) y se utiliza para valorar la integridad del tallo cerebral en síndromes neurológicos e igualmente en la búsqueda de umbrales auditivos en pacientes que no colaboran o simulan hipoacusia (23,24).



La interpretación del PEATC desde un perfil audiológico se caracteriza por:

- La ausencia de respuesta a los 30 dB revela la presencia de una hipoacusia.
- La presencia de los 3 picos principales, con valores de latencias absolutas prolongadas y latencias interpicos dentro de límites normales a 70 dB, es un signo típico de hipoacusia conductiva.
- La ausencia de las respuestas (no aparición de ningún componente), cuando no influyen problemas técnicos, constituye un signo típico de hipoacusia severa por lesión del receptor.
- La presencia solamente del pico V con latencia absoluta dentro del límite normal o ligeramente prolongada a 70 dB, sugiere una hipoacusia neurosensorial, al igual que la presencia de los picos I, III, y V con valores de latencias absolutas e interpicos a 70 dB, con umbral electrofisiológico por encima de 30 dB.

### **Potenciales evocados auditivos de estado estable a múltiples frecuencias (PEAeeMF)**

Con la técnica de PEAeeMF es posible la realización de un audiograma electrofisiológico confiable, lo que puede ser empleada como una nueva alternativa en el estudio de las hipoacusias inducidas por ruido.

En particular, la respuesta de estado estable que se obtiene en el rango de frecuencias entre 80-110 Hz es generada probablemente por la superposición de los PEATC y por tanto, es poco afectada por el sueño y la sedación. Esto le confiere un gran valor como instrumento de exploración audiométrica ya que no se requiere la cooperación del sujeto (25,26).

## Otoemisiones acústicas

Las Otoemisiones acústicas fueron descubiertas por Kemp en 1978 (27,28), que las definió como fracciones de sonido, generadas por la actividad fisiológica de la cóclea, las cuales pueden ser registradas en el conducto auditivo externo. Constituyen un subgrupo de la micromecánica coclear, por la que a través de la contracción de las células ciliadas externa se amplifica la vibración de la membrana basilar y se modula la excitación de las células ciliadas internas. El resultado de este fenómeno son las propiedades de selectividad frecuencial de la cóclea humana y la capacidad de detección de sonidos de escasa intensidad. Estas células ciliadas son móviles gracias a una respuesta electroquímica que provoca una respuesta motora. Las tres filas de células ciliadas externas tienen estereocilios dispuestas en forma de W. El estereocilios están vinculados entre sí y, por lo tanto, se mueven como una unidad, de esta forma se originarían otoemisiones en forma de onda sonora que se propagaría a lo largo de la membrana basilar, en sentido inverso a la onda de Békéssy y posteriormente a través del oído medio hasta alcanzar el conducto auditivo externo donde pueden ser registradas (28).

El registro de otoemisiones constituye un reflejo del correcto funcionamiento de los mecanismos cocleares activos, lo cual suele coincidir con unos umbrales auditivos cercanos a la normalidad.

Las otoemisiones acústicas pueden clasificarse según el tipo de estímulo empleado para evocar su aparición (29,30):

- Emisiones otoacústicas espontáneas (SOAE) - sonidos emitidos sin un estímulo acústico (es decir, de forma espontánea).
- Emisiones otoacústicas transitorias (TOAEs) o transitorias emisiones otoacústicas evocadas (TEOAE) - sonidos emitidos en respuesta a un estímulo acústico de muy corta duración; por lo general hace clic, pero puede ser de tono explosiones.

- Emisiones otoacústicas por productos de distorsión (DPOAE) - sonidos emitidos en respuesta a 2 tonos simultáneos de diferentes frecuencias.
- Emisiones otoacústicas sostenido frecuencia (SFOAEs) - sonidos emitidos en respuesta a un tono continuo.

### **1.5 Productos de distorsión, (DPOAE) (31,32).**

#### **Técnica implementada en la presente investigación.**

Aplicaciones clínicas de los otoemisiones acústicas/productos de distorsión son:

- Cribado de hipoacusia en recién nacidos y lactantes.
- Diagnóstico diferencial y topográfico
- Monitorización de lesiones cocleares.

Los productos de distorsión, son otoemisiones acústicas que se generan cuando la cóclea es estimulada con dos tonos puros de distinta frecuencia ( $f_1$  y  $f_2$ ), de forma que, como consecuencia de la no linealidad coclear, se origina un tercer tono con una frecuencia resultante de la aplicación de función matemática  $2f_1-f_2$  (32,33,34). Estos productos de distorsión se han relacionado con energía que se escapa por las interacciones no lineales que producen dos ondas viajeras entre sus respectivas localizaciones de la partición coclear; por ello pueden utilizarse para examinar cualquier región de la cóclea, aportándonos información con específica frecuencial de la función de este órgano y siendo cada uno de los productos de distorsión  $2f_1-f_2$  reflejo de la activación del área situada ente los locus de estimulación de los tonos primarios. (32,33). Figura 3 y Figura 4.

En oídos patológicos hay importantes reducciones de amplitud o ausencia de productos de distorsión y se observan también importantes reducciones de la incidencia de detección si los umbrales de la vía aérea en la audiometría tonal liminar superan los 55 db. Las pérdidas auditivas en regiones específicas de la audiometría tonal se correlacionan con una disminución de la amplitud de los productos de distorsión de frecuencia similar (33).

	Geometric Mean Frequency (Hz)										
	632	753	905	1142	1440	1810	2278	2873	3626	4561	5745
$\leq -10$ dB	5%	2%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
(-9)-(-5) dB	7%	5%	3%	1%	1%	1%	2%	0%	1%	0%	1%
(-4)-0 dB	33%	16%	13%	3%	1%	5%	2%	7%	1%	0%	1%
1-5 dB	19%	30%	25%	25%	16%	8%	23%	23%	8%	0%	10%
6-10 dB	22%	34%	31%	26%	29%	41%	40%	36%	27%	4%	11%
11-15 dB	14%	13%	15%	30%	39%	33%	28%	30%	40%	10%	35%
16-20 dB	0%	0%	10%	14%	14%	9%	5%	3%	20%	36%	27%
21-25 dB	0%	0%	1%	0%	0%	2%	0%	1%	3%	4%	14%
26-30 dB	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%	1%

Figura 3, Distribución normal por frecuencia de los productos de distorsión L1-L2= a 70 dB SPL DP gram. Vinck B, Del Vel E, Xu Z, Van Cauwenbergue P. Distortion Product Otoacoustic Emissions: A Normative Study. Audiology 1996;35: 231-245. (32).

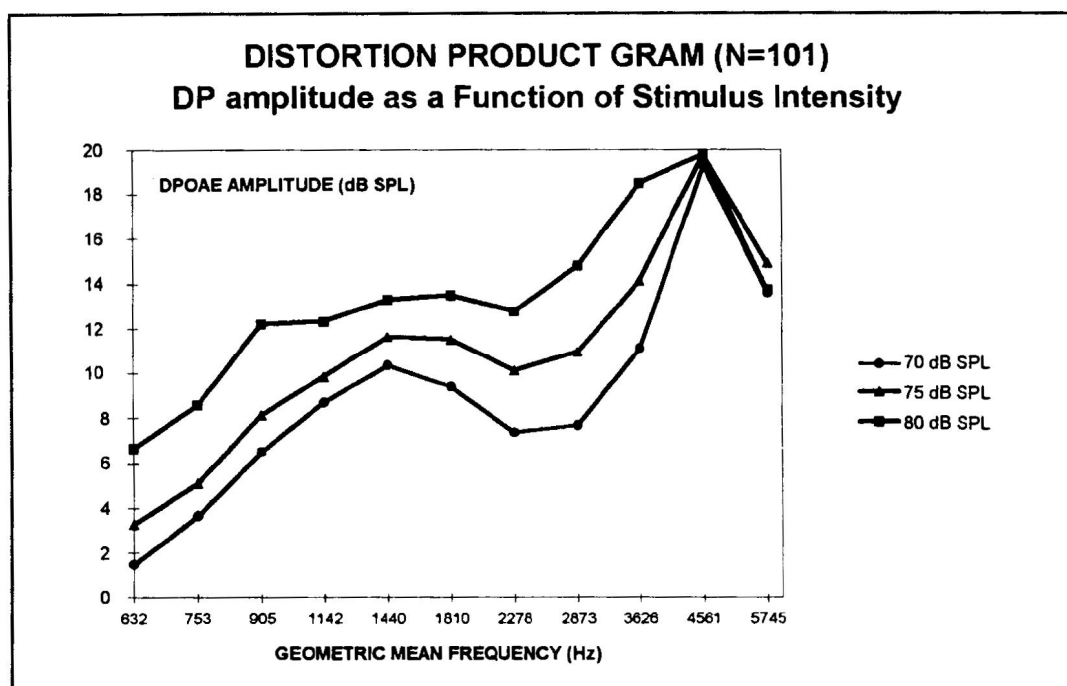


Figura 4, Promedio normal de la amplitud de los productos de distorsión por frecuencias en función del nivel de estímulo. Vinck B, Del Vel E, Xu Z, Van Cauwenbergue P. Distortion Product Otoacoustic Emissions: A Normative Study. Audiology 1996;35: 231-245. (32)

En animales de laboratorio expuestos a altos niveles de ruido, la reducción de amplitud DPOAE mostraron una buena correlación con pérdidas significativas de células ciliadas externas (CCE) al realizar los estudios histológicos cocleares (33), podrían llegar a ser consideradores biomarcadores de vulnerabilidad al ruido, proporcionando una indicación temprana de daño coclear antes de evidenciar una pérdida fija. (34,36). Adicionalmente las DPOAE tienen un potencial único ya tiene la capacidad de valorar los micromecanismos cocleares por frecuencia (35)

La función coclear es más fuerte en la edad neonatal, es el periodo más importante y activo para la función en este órgano, por eso su importancia en el desarrollo del habla, es frecuente encontrar niños con alteración del desarrollo del lenguaje que presentan alguna alteración o lesión en esta área anatómica. (34).

El número total de células ciliadas externas que juegan un papel en la actividad electromecánica están ubicadas en una posición específica en la membrana bacilar coclear, una región muy pequeña de esta zona la cual algunos autores sugieren solo podría medir 1 mm lo cual corresponde a una 1/3 de octava (35)

A partir de la infancia temprana empieza el deterioro continuo del sistema olivo coclear que, a pesar de ser continuo, no es lineal, ya que depende de agentes inherente a cada persona como, por ejemplo: pérdidas de las células ciliadas externas, degeneración de las estrías vasculares, reducción de la función y potencial de la endolinfa, factores genéticos, factores externos como: ototóxicos, traumáticos, ruido (36). Fundamentado en estos postulados, las pérdidas auditivas detectadas a través de las DPOAEs deben ser consideradas patrones individuales, *no es posible hasta el momento estandarizar las pérdidas para una población en general a través de esta prueba ya que cada individuo es único, aunque un grupo de personas estén expuestas todas a un mismo agente nocivo, existe otros factores que influyen, los cuales son inherentes a cada individuo, cada sujeto es su propio control en el tiempo* (36).

En su estudio clásico Taylor W y colaboradores de 1965 (37), al estudiar tejedores mediante la audiometría, evaluaron los umbrales de audición después de una exposición muy larga y constante de casi 40 años al ruido laboral, observaron una pérdida auditiva progresiva que inicia en los 4.000 Hz, alcanzando su máximo en un periodo aproximado de 12 años y la cual desde ese momento empieza a expandirse de forma más lenta pero continua a otras frecuencias medias, llevando a los trabajadores a la hipoacusia irreversible.

Sin embargo, en la actualidad los estudios en modelos animales (38), **identifican el daño temprano coclear**, a través de las otoemisiones acústicas, llegando a ser estos predictivos de la pérdida en los diferentes umbrales de la audición. En los seres humanos, las reducciones en las DPOAEs han sido observadas en los oídos de expuestos al ruido incluso con audiometría normal, por otra parte, la variabilidad DPOAE prueba-reprueba es algo inferior a la de audiometría, del orden de 3 dB, como resultado, se han propuesto que las DPOAEs sean consideradas herramientas para la vigilancia de la salud industrial.

En la misma línea de trabajo Attias y Colaboradores (39,40), buscaron la relación entre los umbrales auditivos por audiometría y la presencia de emisiones otoacústicas, en pacientes con hipoacusia inducida por ruido o sin ella, y encontraron que en los pacientes expuestos a ruido, las emisiones estaban muy disminuidas, aun cuando los umbrales auditivos no mostraban cambios importantes, lo que demuestra que las emisiones otoacústicas representan una medida más exacta del daño coclear que está produciendo la exposición a ruido aún antes de que el paciente pueda percatarse de ello, además ofrecen una elevada sensibilidad (79-95 %) y especificidad (84-87 %) y proveen en muchas ocasiones información indispensable en casos médico-legales, en los cuales la configuración de los umbrales audiométricos son necesarios para obtener un diagnóstico preciso de la hipoacusia y que la compensación sea proporcional a la severidad de esta (41).

Estos estudios demuestran que las emisiones otoacústicas ofrecen objetividad y certeza elevada, complementando el audiograma en el diagnóstico y monitoreo del estado de la cóclea después de la exposición a un ambiente ruidoso.

Otro estudio prospectivo es el realizado por Marshall y colaboradores en el 2000 (43), estudio longitudinal en el cual los sujetos fueron evaluados cada año, durante 4 años. La mayoría de sujetos expuesto al ruido fueron personal militar inscritos a programas de prevención para la conservación de la audición de la marina estadounidense. También había un grupo de control de no expuestos. Este trabajo demuestra un cambio significativo para las DPOAEs en el grupo de expuestos al ruido durante la evolución.

### **Registro de las otoemisiones acústicas/Productos de distorsión:**

Todos los equipos de registro se fundamentan en principios similares. Se inserta una sonda con una punta suave y flexible en el canal auditivo para obtener un sellado, las sondas se calibran de forma diferente debido a la diferencia significativa en el volumen del conducto auditivo (44).

Estas sondas disponen de uno o dos altavoces emisores del estímulo y un micrófono receptor de la respuesta. Se encuentra unida al hardware compuesto por las tarjetas generadoras del estímulo y los analizadores de la respuesta con su correspondiente unidad amplificadora. En la misma unidad o en un ordenador conectado a esta se dispone el software específico de cada sistema (44).

Tras la estimulación adecuada, el sistema intenta extraer las señales biológicas no lineales de todo el ruido lineal registrado por el micrófono, si esta señal alcanza una amplitud significativa por encima del nivel de ruido el sistema considera automáticamente que el registro acústico son otoemisiones y nos lo hace saber de distintas formas (señales luminosas, representación gráfica o representación numérica (45).



Todas las OEA se analizan en relación con el ruido de fondo; por lo tanto, la reducción del ruido ambiente fisiológico y acústico es crítico para buenas grabaciones. Debido a que no se requiere ninguna respuesta de comportamiento, las emisiones otoacústicas se puede obtener incluso de los pacientes que están en estado de coma. En un paciente tranquilo y cooperativo, las grabaciones por lo general requieren pocos minutos en cada oído. Para un paciente que no coopera o ruidoso, las grabaciones pueden tardar mucho más tiempo o puede ser imposible de obtener en una visita determinada (45,46).

El ordenador presenta en una gráfica el promedio frecuencial del ruido de fondo y la amplitud del producto de distorsión medido en el conducto auditivo externo, como nivel de presión acústica expresado en dB SPL. Se considera que la energía acústica registrada es un verdadero producto de distorsión cuando se presenta con una amplitud de más de 3 dB SPL por encima del nivel de ruido (45).

#### **Requisitos previos para la obtención de las emisiones otoacústicas (45).**

- Descartar obstrucciones del conducto auditivo externo e integridad de la membrana timpánica (estenosis, otitis externa, quistes, perforación del tímpano. Los tubos de ventilación del oído medio no impiden necesariamente buenas grabaciones.
- Buen sellado del conducto auditivo externo con la sonda (colocación óptima de la sonda).
- La ausencia de patología del oído medio, hay que descartar: otosclerosis, desarticulación del oído medio, colesteatoma, quistes, otitis media bilateral.
- Paciente en reposo: El movimiento excesivo o vocalización puede impedir la grabación. Se recomienda la posición de sentado, con columna cervical recta al momento de realizar la prueba. Trabajos previos proponen que las posturas corporales inadecuadas podrían afectar los resultados de la prueba, el cambio en la postura del cuerpo cambia la presión dentro del cráneo y un cambio en la presión podría, a su vez, afectar al oído interno. (45)

- Entorno de grabación relativamente tranquila: no se requiere una cabina de sonido, pero un entorno ruidoso puede impedir el registro preciso.

Las otoemisiones acústicas/productos de distorsión son en la actualidad la prueba objetiva, no invasiva y de bajo costo que nos ofrece datos de las frecuencias agudas tan necesarias para el habla y el lenguaje, además ofrecen en muchas ocasiones información indispensable en casos médico-legales, en los cuales la configuración de los umbrales audiométricos son necesarios para obtener un diagnóstico preciso de la hipoacusia y que la compensación sea proporcional a la severidad de esta. Proporcionan objetividad y certeza elevada, complementando el audiograma en el diagnóstico y monitorizando el estado de la cóclea después de la exposición a un ambiente ruidoso (46).

## 1.6 Legislación.

### Valores límite:

La legislación española actual para la protección de los trabajadores expuestos al ruido se basa en:

- REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. BOE nº 60 11-03-2006 (47).

Cuyo fin primordial es: *“Eliminar el ruido en origen o, si ello no es posible, reducirlo al nivel más bajo posible atendiendo a los avances técnicos disponibles y a la disponibilidad de medidas y no limitarse a cumplir con los valores de referencia establecidos”.*

- La Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales (48).

Motivos: *“La protección del trabajador frente a los riesgos laborales exige una actuación en la empresa que desborda el mero cumplimiento formal de un conjunto predeterminado, más o menos amplio, de deberes y obligaciones empresariales y, más aún, la simple corrección a posteriori de situaciones de riesgo ya manifestadas.*

*La planificación de la prevención desde el momento mismo del diseño del proyecto empresarial, la evaluación inicial de los riesgos inherentes al trabajo y su actualización periódica a medida que se alteren las circunstancias, la ordenación de un conjunto coherente y globalizador de medidas de acción preventiva adecuadas a la naturaleza de los riesgos detectados y el control de la efectividad de dichas medidas constituyen los elementos básicos del nuevo enfoque en la prevención de riesgos laborales que la Ley plantea. Y,*

*junto a ello, claro está, la información y la formación de los trabajadores dirigidas a un mejor conocimiento tanto del alcance real de los riesgos derivados del trabajo como de la forma de prevenirlos y evitarlos, de manera adaptada a las peculiaridades de cada centro de trabajo, a las características de las personas que en él desarrollan su prestación laboral y a la actividad concreta que realizan.*

*Desde estos principios se articula el capítulo III de la Ley, que regula el conjunto de derechos y obligaciones derivados o correlativos del derecho básico de los trabajadores a su protección, así como, de manera más específica, las actuaciones a desarrollar en situaciones de emergencia o en caso de riesgo grave e inminente, las garantías y derechos relacionados con la vigilancia de la salud de los trabajadores, con especial atención a la protección de la confidencialidad y el respeto a la intimidad en el tratamiento de estas actuaciones, y las medidas particulares a adoptar en relación con categorías específicas de trabajadores, tales como los jóvenes, las trabajadoras embarazadas o que han dado a luz recientemente y los trabajadores sujetos a relaciones laborales de carácter temporal.”*

*Objetivos: “La presente Ley tiene por objeto promover la seguridad y la salud de los trabajadores mediante la aplicación de medidas y el desarrollo de las actividades necesarias para la prevención de riesgos derivados del trabajo.*

*A tales efectos, esta Ley establece los principios generales relativos a la prevención de los riesgos profesionales para la protección de la seguridad y de la salud, la eliminación o disminución de los riesgos derivados del trabajo, la información, la consulta, la participación equilibrada y la formación de los trabajadores en materia preventiva, en los términos señalados en la presente disposición. Para el cumplimiento de dichos fines, la presente Ley regula las actuaciones a desarrollar por las Administraciones públicas, así*

*como por los empresarios, los trabajadores y sus respectivas organizaciones representativas.*

*Las disposiciones de carácter laboral contenidas en esta Ley y en sus normas reglamentarias tendrán en todo caso el carácter de Derecho necesario mínimo indisponible, pudiendo ser mejoradas y desarrolladas en los convenios colectivos.*

- DIRECTIVA 2003/10/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 6 de febrero de 2003 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido) (49).

*Objetivos: “La presente Directiva, que es la decimoséptima Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE, establece las disposiciones mínimas en materia de protección de los trabajadores contra los riesgos para su seguridad y su salud originados o que puedan originarse por la exposición al ruido, en particular los riesgos para el oído.*

*2. Las disposiciones de la presente Directiva se aplicarán a las actividades en las que los trabajadores estén o puedan estar expuestos a riesgos derivados del ruido como consecuencia de su trabajo.*

A efectos de este real decreto, los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción, referidos a los niveles de exposición diaria y a los niveles de pico, se fijan en:

- Valores límite de exposición:  $LA_{eqD} = 87 \text{ dB(A)}$  y  $L_{pico} = 140 \text{ dB}$ .
- Valores superiores de exposición que dan lugar a una acción:  $LA_{eq,d} = 85 \text{ dB(A)}$  y  $L_{pico} = 137 \text{ dB}$ .
- Valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción:  $LA_{eq,d} = 80 \text{ dB(A)}$  y  $L_{pico} = 135 \text{ dB}$

### **Definición de hipoacusia según la audiometría.**

Para nuestro trabajo tomamos la clasificación de la pérdida auditiva según la metodología de KLOCKHOFF modificada por la clínica Lavoro de Milán en 1979 y 2002, la cual considera las pérdidas no sólo en frecuencias conversacionales (500, 1.000, 2.000, 3.000 Hz.), sino también en frecuencias agudas (4.000, 6.000 y 8.000 Hz). Además, su aplicación es sencilla, ampliamente conocida en patología laboral en nuestro medio, propuesta por el Instituto Nacional Seguridad e Higiene en el Trabajo (a partir del año 1988, NTP 193), para clasificar las audiometrías practicadas a colectivos de trabajadores expuestos a ruido y que además facilita la aplicación de los criterios indemnizatorios de la legislación española para los diferentes grados de hipoacusia profesional. Clasifica las audiometrías de la siguiente forma (50,51,52,53):

- 1. Tipo I: Normal.** Se valorará una gráfica como normal cuando el umbral de audición no sea superior a 25 dB en ninguna frecuencia.
- 2. Tipo II: Trauma acústico inicial.** Escotoma en las frecuencias 4.000, 6.000 y 8.000, de forma que las frecuencias más afectadas deben ser 4.000 y/o 6.000 Hz. El escotoma no supera los 55 decibelios en ninguna de estas frecuencias.
- 3. Tipo III: Trauma acústico avanzado.** El escotoma en alguna de las frecuencias 4.000, 6.000 y 8.000 supera los 55 decibelios.
- 4. Tipo IV: Hipoacusia por ruido leve:** cuando algunas de las frecuencias conversacionales (500, 1.000, 2.000 y 3.000) no están afectadas.
- 5. Tipo V: Hipoacusia por ruido moderada.** Están afectadas todas las frecuencias conversacionales, pero ninguna de ellas supera los 55 dB.
- 6. Tipo VI: Hipoacusia por ruido avanzada.** Están afectadas todas las frecuencias conversacionales y como mínimo una de ellas en más de 55 dB.
- 7. Tipo VII.** Otras alteraciones no debidas a exposición a ruido.

## **JUSTIFICACIÓN**

## 2. JUSTIFICACIÓN

La audiometría, prueba Gold estándar para el diagnóstico de la hipoacusia, es un método que brinda alta sensibilidad y especificidad. Los pacientes diagnosticados con pérdidas auditivas a través de esta técnica, en el caso específico la hipoacusia por ruido, presentan lesiones fijas e irreversibles. Siendo este el punto que motiva esta tesis, la búsqueda de pruebas diagnósticas útiles para detectar pérdidas auditivas antes de que se hagan fijas, orientando su utilidad hacia las actividades laborales, buscando diagnósticos precoces y sensibilidad de los trabajadores ante el ruido, con el fin de generar acciones preventivas y correctivas que lo protejan.

A lo anterior se suma el deseo explícito por parte del doctorando y del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales del Hospital General Universitario Gregorio Marañón, de mejorar las condiciones laborales y la búsqueda de tecnologías más eficientes para la vigilancia de la salud de los trabajadores del hospital, pilar primordial de este estudio.

En la actualidad existen pocos estudios publicados en la literatura internacional y nacional que traten el carácter predictivo de los productos de distorsión/otoemisiones acústicas, la mayoría busca demostrar su efectividad Vs la audiometría, desarrollando poca evidencia al momento de abordar su importancia como prueba de detección temprana para la pérdida auditiva inducida por ruido, motivos que justifican el desarrollo de este trabajo.



## **HIPÓTESIS**

### **3. HIPÓTESIS DE TRABAJO**

Los productos de distorsión/otoemisiones acústicas (DPOAEs) son una prueba importante para la valoración de la hipoacusia inducida por ruido (HIR) pudiéndose diagnosticar precozmente un daño coclear antes de que los trabajadores expuestos al ruido puedan percatarse del mismo y antes de que exista una disminución objetivable en la audiometría tonal, por lo que se podría introducir esta prueba diagnóstica, en los servicios de prevención de riesgos laborales, como un elemento predictor en la rutina exploratoria de los trabajadores expuestos al ruido

## **OBJETIVOS**

## 4. OBJETIVOS

### **Objetivo principal:**

Evaluar la capacidad predictiva de los productos de distorsión/otoemisiones acústicas (DPOAEs), en la detección temprana del deterioro de la función coclear, en presencia de un ambiente laboral expuesto al ruido.

### **Objetivos secundarios:**

1. Estudiar la población expuesta a ruido en el Hospital General Universitario Gregorio Marañón, dentro de su programa preventivo periódico, registrando la presencia o no de hipoacusia y su evolución, con el fin de mejorar la calidad en las actividades preventivas y así lograr el bienestar de sus trabajadores.
2. Estudiar el grado de asociación entre los productos de distorsión/otoemisiones acústicas y la audiometría en las diferentes frecuencias.
3. Estudiar si se pueden proponer modificaciones a las acciones preventivas realizadas en los exámenes de salud llevados a cabo por los Servicios de Prevención de Riesgos Laborales con la finalidad de mejorar la de la salud de los trabajadores.

## **MATERIAL**

## 5. MATERIAL

Para el estudio se dispuso de las bases de datos que recogen las medidas higiénicas practicadas por los técnicos del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales del Hospital General Universitario Gregorio Marañón, en concreto la de los puestos de trabajo donde estaba presente el ruido como agente físico a estudiar (cocina y lavandería).

Para tales medidas se usó un sonómetro “DOSÍMETRO SIE 9501 dB LACAINAC” (54,55).



Las valoraciones a los trabajadores se efectuaron en el Laboratorio de Audiología del Hospital Materno Infantil del Hospital General Universitario Gregorio Marañón. La audiometría fue realizada con un audiómetro AUDIO TEST 340, Numero de serie 15284, al cual se le realizan calibraciones anuales, siendo la ultima la del 1 de junio del 2016, las pruebas se realizaron en una cabina insonorizada cumpliendo ambos las normativas requeridas para su utilización en la Unión Europea.



Para los productos de distorsión/otoemisiones acústicas (DPOAEs), se utilizó un equipo DPOAE20/TEOAE25, con fecha inicial de uso de 7 de enero de 2005 y fecha de última revisión 12 de diciembre de 2015, cumpliéndose las normativas EN 60601-1, EN 60601-1-2, EN 60645-3 y reuniendo los requisitos del anexo II de la Directiva de productos Médicos 93/42/EEC. La aprobación del sistema de calidad ha sido concedida por TUV – identificación No. 0123. Este equipo registra los productos de distorsión en forma de audiograma (PD-grama), modalidad que permite un estudio de la función coclear mediante una representación gráfica de las distintas amplitudes (dB SPL) de los productos de distorsión  $2f_1$ - $f_2$  generados tras la variación de la frecuencia de los primarios, manteniendo la intensidad constante.



La tabulación de los datos fue realizada a través de hojas de cálculo de Excel y se usó el programa “SPSS Statistics versión 17.0.2” para los cálculos estadísticos.



## MÉTODO

## 6. MÉTODO

Se trata de un estudio comparativo, prospectivo, donde se confrontaron los resultados registrados en bases de datos de los exámenes de vigilancia de la salud específicos ante la exposición al ruido, en dos años consecutivos, de todos los trabajadores expuesto a este agente, en el hospital General Universitario Gregorio Marañón.

Se contó con la autorización por parte del servicio de prevención de riesgos laborales y la autorización bajo consentimiento informado de todos los trabajadores incluidos en la muestra. Este estudio no implicó más procedimientos que el de las exploraciones recomendadas por el protocolo de vigilancia específica para el ruido, siguiendo a la Comisión de Salud Pública, Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud. 2000. España (12) y el Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. BOE nº 60 11-03-2006 (47).

Respetando siempre las Recomendaciones del Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas (CIOMS) en colaboración con la Organización Mundial de la Salud (OMS). Ginebra 1991 y de los principios de la Declaración de Helsinki, adoptados por la Asociación Médica Mundial en 1964 y enmendados en 1975, 1983, 1989 y 1992 (56).

### **Universo:**

Los trabajadores fueron seleccionados según los informes de la Unidad de Higiene tomados por el Servicio de Prevención de Riesgos Laborales (54,55), los cuales, dependiendo de su lugar de trabajo y su valor de exposición a ruido, se clasifican en:

**Cocina central:**

- Personal de almacén y cámara frigoríficas: Jornada de trabajo 8 horas por día, LAeqT (Nivel sonoro continuo equivalente): 83,9 dB, LaeqD (Nivel equivalente diurno): 83,9 dB, Lmax (Nivel de presión sonora máximo): 104,3 dB.
- Cocinero-pinche de cocina: Jornada de trabajo 8 horas por día, LAeqT (Nivel sonoro continuo equivalente): 85,2 dB, LaeqD (Nivel equivalente diurno): 85,2dB, Lmax (Nivel de presión sonora máximo): 102 dB.
- Cocinero jefe-pinche de cocina: Jornada de trabajo 8 horas por día, LAeqT (Nivel sonoro continuo equivalente): 85,6 dB, LaeqD (Nivel equivalente diurno): 85,6 dB, Lmax (Nivel de presión sonora máximo): 104,4 dB.
- Auxiliar de hostelería: Jornada de trabajo 8 horas por día, LAeqT (Nivel sonoro continuo equivalente): 85,5 dB, LaeqD (Nivel equivalente diurno): 85,5 dB, Lmax (Nivel de presión sonora máximo): 103 dB.

**Lavandería:**

- Zona de sucio: Jornada de trabajo 8 horas por día, LAeqT (Nivel sonoro continuo equivalente): 73 dB, LaeqD (Nivel equivalente diurno): 73 dB, Lmax (Nivel de presión sonora máximo): 78,2 dB.
- Zona de procesado de ropa limpia: Jornada de trabajo 8 horas por día, LAeqT (Nivel sonoro continuo equivalente): 83,5 dB, LaeqD (Nivel equivalente diurno): 83,5 dB, Lmax (Nivel de presión sonora máximo): 93,4 dB.

Obteniendo un total de 120 trabajadores expuestos a ruido, al revisar las bases de datos se desestimaron los que presentaban algunos de los siguientes criterios de exclusión previamente establecidos:

**Criterios de exclusión.**

- Diagnóstico previo de patología otológica
- Hipoacusia ya diagnosticada
- Historia familiar de patología auditiva degenerativa.
- Exposición previa y documentada a medicamentos y sustancias ototóxicas.
- Antecedente de traumatismos craneoencefálico.

Del total de los 120 trabajadores expuestos, tras aplicar los criterios de exclusión, quedó una población inicial para estudio de 95 trabajadores.

***La primera base de datos analizada comprendía los periodos entre septiembre del 2012 a abril 2013.***

Los resultados del examen de vigilancia de la salud registrados en esta, comprendían:

- a. Valoración inicial que constaba de:
  - Historia clínica laboral completa, donde se remarcaron los antecedentes otorrinolaringológicos.
- b. Exploración clínica que se realizaba en el laboratorio de Audiología del Hospital Materno Infantil, Hospital General Universitario Gregorio Marañón, consistía en:
  - Otoscopia: Donde se descartó patología timpánica, obstrucción de conducto auditivo externo.

➤ Audiometría:

- Reposo auditivo de mínimo de 12H.
- Puntos de análisis por frecuencia para vía aérea y ósea a: 1.000Hz, 2.000Hz, 3.000Hz, 4.000Hz, 6.000Hz, 8.000Hz.

➤ Productos de distorsión/otoemisiones acústicas (DPOAEs):

- Intensidad de estimulación de los tonos primarios,  $f_1$  y  $f_2$ : 65 dB SPL.
- La relación  $f_2/f_1$  de las frecuencias de los tonos primario fue constante, con un valor de 1,25.
- Análisis de amplitud de las DPOAEs en las frecuencias  $2f_1-f_2$ .
- Puntos de análisis frecuencias correspondiente a: 1.000Hz, 2.000Hz, 4.000Hz, 6.000Hz, 8.000Hz.
- El criterio de existencia de los productos de distorsión quedo establecido como la diferencia entre las DPOAEs y el nivel de ruido igual o superior a 3 dB.

**Variables analizadas:**

- a. Sexo.
- b. Edad.
- c. Antecedentes personales:
  - Hipertensión arterial (independiente del grado).
  - Diabetes mellitus (incluidos tanto insulino dependientes como los que no).
  - Dislipidemia
  - Antecedente tabáquico: Incluidos los que superaban los 5 paquetes/año.
  - Presencia de acufenos.
- d. Años de exposición al ruido.
- e. Resultados de audiometría para cada oído (derecho e izquierdo) a las frecuencias: 1.000Hz, 2.000Hz, 4.000Hz, 6.000Hz, 8.000Hz.
- f. Valoración de la pérdida de audición binaural según la metodología de KLOCKHOFF modificada por la Clínica Lavoro de Milán en 1979 y 2002 (50,51).
- g. Resultados de los valores de amplitud para los productos de distorsión/otoemisiones acústicas en dB SPL a 1.000Hz, 2.000Hz, 4.000Hz, 6.000Hz, 8.000Hz.

Como se describe inicialmente, se compararon dos muestras tomadas de años consecutivos, cumpliéndose que:

- Era el mismo trabajador que estaba expuesto al ruido
- Se trataban de los mismos puestos de trabajo, a los cuales se les aplicó el protocolo de vigilancia de la salud específica de exposición al ruido y se tomaron las mismas variables a estudio.

***La segunda base de datos estudiada comprendía los periodos entre octubre del 2013 a mayo del 2014.***

Al analizar los datos encontramos que, de los 95 trabajadores incluidos inicialmente de las zonas de cocina y lavandería, que cumplían con los criterios de estudio, se habían perdido 25 sujetos, (26.3% de la muestra), debido al cierre de la lavandería, que llevo a la reubicación de los trabajadores a otros puestos en zonas libres de ruido. Quedando una población total de 70 trabajadores expuestos a ruido, con la cual trabajamos.

Adicionalmente y para dar mayor fuerza estadística al presente trabajo, se comparó la muestra con bases de datos de trabajadores que no estaban expuesto al ruido en su jornada laboral.

A este grupo también se les aplicó los criterios de exclusión ya descritos, al igual que las variables a estudio, solicitándole su autorización a través del consentimiento informado para el uso de sus datos. La muestra total para el grupo control fue de 37 trabajadores.

Los resultados fueron tabulados en hojas de cálculo Excel, donde se registraron todos los valores de las variables a estudiar, tras la revisión de las bases de datos.

Los estudios estadísticos fueron realizados en el programa SPSS Statistics versión 17.0.2.

## Método estadístico

### Procedimiento:

- Estudio y preparación de la base de datos.
- Estudio descriptivo.
- Análisis de las hipótesis de interés mediante contrastes de hipótesis: Analizamos el grado de asociación entre las técnicas de diagnóstico de pérdida auditiva, se contrastó si existe o no concordancia entre los resultados obtenidos a través de la audiometría (Gold estándar) y las otoemisiones acústicas (DPOAE) para la detección temprana de la pérdida auditiva secundaria a la exposición al ruido. Se obtuvieron los resultados para las pruebas estadísticas anteriormente citadas, las cuales servirán de herramienta de decisión, de la siguiente forma:

Hipótesis a contrastar:

- $H_0$  =Independencia de los tratamientos
- $H_1$  =Concordancia o asociación entre tratamientos

De tal forma que, si el nivel de significación de la prueba es menor que el nivel de significación 0,05 fijado, entonces rechazaremos la hipótesis nula de independencia y concluiremos con que, en esos casos, existe asociación entre las pruebas diagnósticas, es decir, en esos casos podremos considerar que a partir de ambas pruebas diagnósticas se obtienen resultados similares.



Se consideró como pérdida auditiva todo valor superior a 25 dB (Clasificación superiores al tipo I, metodología de KLOCKHOFF modificada por la clínica Lavoro de Milán en 1979 y 2002 (51,52).

Para las otoemisiones acústicas/productos de distorsión, los valores de amplitud inferiores a 6 dB SPL por frecuencia estudiada, fueron considerados como pérdida auditiva (57,58).

Se muestran las tablas de contingencia, obtenidas a partir de las frecuencias observadas para cada nivel (frecuencias auditivas explorada), tanto en valor como en porcentaje. En cada caso tuvimos en cuenta el número de valores observados, ya que, si teníamos grupos de valores menores de 5 y estos fuesen más del 20% de todos los cruces, consideramos como no válida la prueba estadística chi-cuadrado (de independencia de tratamientos), ejemplo de estos casos (frecuencia 1.000 Hz y 2.000 Hz) donde se usó el test de Fisher para evaluar la asociación entre las pruebas.

Por último, se expondrán los estadísticos Kappa, midiendo el grado de concordancia entre las evaluaciones nominales, cuando se evalúan las mismas muestras. Tomo valores entre -1 y 1, de tal forma que cuanto más cercano sea dicho valor a 1, mayor será el grado de asociación y cuanto más cercano a 0 menor, para los casos en que sea significativo.

Al grupo control (NO expuestos al ruido) se le aplico mismo método y procedimiento estadístico antes descrito para el grupo de expuesto al ruido.

## **RESULTADOS**

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Estadística descriptiva.

Tamaño del universo: La serie, comprendió 70 trabajadores expuesto al ruido y 37 individuos de control no expuestos.

#### Resultados en la población a estudio expuesta al ruido

##### *Demográficos:*

La distribución por sexo: 64 (91,4%) fueron mujeres y 6 (8.6%) hombres. La edad media para esta serie de trabajadores fue de 48 años, con un rango entre los 32 y 60 años, desviación estándar típica para la edad es de 7.07. La media de años expuestos al ruido fue de 14.7 con una desviación estándar de 9.45.

Los antecedentes médicos asociados estudiados: Hipertensión arterial (presente en un 10%), diabetes mellitus (1.4%), dislipidemia (23%), antecedente tabáquico (7.1%) y la presencia de acufenos (7% de los estudiados), el resto de la población estudiada (51.4%) no presentaba los antecedentes médicos estudiados (Tabla 1).

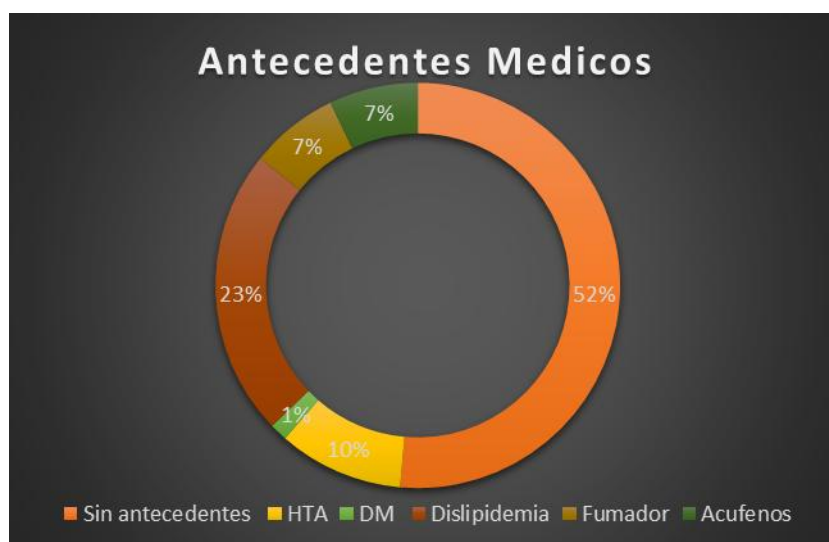


Tabla 1. Antecedentes médicos.

### *Pérdida auditiva binaural del grupo expuesto a ruido*

Desde el punto de vista de la pérdida auditiva binaural y tomando como Gold estándar la audiometría, se obtienen los siguientes resultados:

Existe una pérdida auditiva con una media binaural de 14 dB al iniciar el estudio, con desviación estándar típica de 5.1, versus una pérdida binaural final (*Al referirnos a final se comparan con los datos de la segunda valoración tras 1 año de la inicial*) de 15 dB con desviación estándar de 6.8, con rangos que van desde 5 a 33 (inicial) y 10 al 50 (final). Tabla 2.

### **Descriptivos**

	Pérdida Au OD	Pérdida Au Final OD	Pérdida Au OI	Pérdida Au Final OI	Pérdida Au BINAURAL	Pérdida Au Final BINAUR AL	Edad	Exposición a Ruido (Años)
Media	15,9714	17,0714	15,0571	16,3143	14,6143	15,7429	48,0143	14,7286
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	14,7328	15,4044	13,7393	14,6071	13,3774	14,1010	46,3275
	Límite sup.	17,2101	18,7385	16,3750	18,0215	15,8511	17,3847	49,7011
Media recortada al 5%	15,6984	16,2063	14,6746	15,4365	14,2619	14,8095	48,1270	14,3413
Mediana	15,0000	15,0000	15,0000	14,5000	14,0000	14,0000	48,0000	13,5000
Varianza	26,985	48,879	30,547	51,262	26,907	47,411	50,043	89,309
Desviación estándar	5,19468	6,99134	5,52697	7,15976	5,18720	6,88558	7,07413	9,45036
Mínimo	5,00	10,00	5,00	10,00	5,00	10,00	32,00	1,00
Máximo	33,00	50,00	34,00	51,00	33,00	50,00	60,00	39,00
Rango	28,00	40,00	29,00	41,00	28,00	40,00	28,00	38,00
Rango intercuartil	6,00	6,00	7,00	8,25	7,00	7,00	11,25	13,50
Asimetría	,835	2,320	1,150	2,245	1,151	2,577	-,080	,513
Curtosis	1,363	7,250	1,929	7,429	2,099	8,952	-0,690	-0,458

**Tabla 2. Descriptivos.**

Al comparar la edad con la pérdida auditiva se objetiva una asociación significativa ( $P < 0.01$ ), demostrando que a mayor edad existe una mayor pérdida auditiva, donde entrarían a valorarse otros factores externos al ruido como las misma presbiacusia. Si comparamos la pérdida auditiva con los años de exposición al ruido, paradójicamente en nuestro trabajo, no existe asociación estadísticamente significativa ( $P > 0.61$ ). Tabla 3.

		Correlaciones					
		PérdidaAuOD	PérdidaAu Final_OD	PérdidaAuOI	PérdidaAu Final_OI	PérdidaAu BINAURAL	PérdidaAu Final BIAURAL
Edad	Correlación de Pearson	0,319	0,43	0,4	0,427	0,455	0,453
	Sig. (bilateral)	,007	,000	,001	,000	,000	,000
	N	70	70	70	70	70	70
Exposición a Ruido (Años)	Correlación de Pearson	-,061	-,057	-,062	-,004	-,081	-,012
	Sig. (bilateral)	,616	,642	,612	,977	,503	,921
	N	70	70	70	70	70	70

Tabla 3. Comparación entre edad y años de exposición al ruido.

## Resultados en la población a estudio NO expuesta al ruido (grupo control):

### Demográficos:

Distribución por sexo: 25 (67.6%) fueron mujeres y 12 (32.4%) hombres. La edad media para esta serie de trabajadores fue de 40 años, desviación estándar típica para la edad es de 8.9. Estos pacientes fueron seleccionados entre trabajadores no expuestos al ruido de forma continua ni laboral ni socialmente. Con relación a los antecedentes médicos asociados, 2 (5.4 %) de los integrantes del grupo estudiado relataron antecedente de dislipidemia y 35 (94.6%) no relato ningún antecedente.

### Pérdida auditiva binaural.

Para la pérdida auditiva binaural, tomando también como Gold estándar la audiometría, se obtienen los siguientes resultados:

Existe una pérdida auditiva con una media binaural de 10 dB al iniciar el estudio, que se mantiene estable con 11 dB en la última medición.

## **7.2 Estadística descriptiva, exploratoria y confirmatoria.**

Analizamos el grado de asociación entre las técnicas de diagnóstico de la pérdida auditiva, se contrastó si existe o no concordancia entre los resultados obtenidos a través de la audiometría (Gold estándar) y los productos de distorsión/otoemisiones acústicas (DPOAE), para la detección temprana de la pérdida auditiva secundaria a la exposición al ruido.

### *Técnica y resultados.*

En esta parte del estudio se publican los resultados para los cruces entre las variables dicotómicas, que organizamos en función de:

- Oído: Derecho e Izquierdo.
- Estado: Inicial (primera valoración) y final (tras pasar en 1 año), para las audiometrías Vs los productos distorsión/otoemisiones acústicas.
- Niveles de Frecuencia: 1.000Hz, 2.000Hz, 4.000Hz, 6.000Hz, 8.000Hz.

## Resultados en la población estudio expuesta al ruido

A. **Tablas de contingencia a 1.000Hz**, para oído derecho (OD) y oído izquierdo (OI), teniendo en cuenta valoración basal y final (tras 1 año) entre la audiometría(Au) y los productos distorsión/otoemisiones acústicas (dB SPL).

**Tabla 4. Contingencias a 1.000 HZ**

Au OD 1.000 Hz inicial *dB SPL				Au OD 1.000 Hz Final * dB SPL					
Tabla de Contingencia				Tabla de Contingencia					
		DP S/N level OD 1.000 HZ Basal		Total			DP S/N level OD 1.000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	36	0	65	0	Recuento	46	17	63
	% del total	97,3%	0,0%	92,9%		% del total	65,7%	24,3%	90,0%
1	Recuento	0	1	5	1	Recuento	4	3	7
	% del total	0,0%	2,7%	7,1%		% del total	5,7%	4,3%	10,0%
	Recuento	41	29	70		Recuento	50	20	70
	% del total	58,6%	41,4%	100,0%		% del total	71,4%	28,6%	100,0%

Au OI 1.000 Hz inicial * dB SPL				Au OI 1.000 Hz Final * dB SPL					
Tabla de Contingencia				Tabla de Contingencia					
		DP S/N level OI 1000 HZ Basal		Total			DP S/N level OI 1000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	42	24	66	0	Recuento	48	17	65
	% del total	60,0%	34,3%	94,3%		% del total	68,6%	24,3%	92,9%
1	Recuento	2	2	4	1	Recuento	4	1	5
	% del total	2,9%	2,9%	5,7%		% del total	5,7%	1,4%	7,1%
	Recuento	44	26	70		Recuento	52	18	70
	% del total	62,9%	37,1%	100,0%		% del total	74,3%	25,7%	100,0%

Donde “0” es el porcentaje de trabajadores a los cuales no se le ha detectado pérdida auditiva con la prueba, usando los valores pre establecido (superior a 25 dB para la audiometría por frecuencia estudiada y amplitud inferiores a 6 dB SPL por frecuencia estudiada) y “1” porcentaje de trabajadores a los cuales se la ha detectado la pérdida a través de la prueba.

En este caso es mayor del 20%, el número de grupos con valores menor que 5, entonces la prueba estadística chi-cuadrado de independencia de tratamientos no será válida, por lo que tendremos que utilizar el test de Fisher para evaluar la asociación de las pruebas diagnóstico.

**Tabla 5. Test exacto de Fischer a 1.000 Hz entre audiométrica Vs productos de distorsión/otoemisiones acústicas, para oído derecho y odio izquierdo.**

Au OD inicial * dB SPL level inicial						Au OD Final * DP S/N level Final					
	Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)		Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)
Prueba exacta de Fisher				,642	,338	Prueba exacta de Fisher				,399	,316

Au OI inicial * dB SPL level inicial						Au OI Final * DP S/N level Final					
	Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)		Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)
Prueba exacta de Fisher				,624	,476	Prueba exacta de Fisher				1,000	,617

Existe significancia para P en todas las pruebas, tanto en la valoración inicial como final, en oído derecho/odio izquierdo con valores superiores al nivel de significación 0,05 fijado, por lo que no podemos rechazar nuestra hipótesis nula, asumiendo que no existe relación entre las pruebas estudiadas a esta frecuencia.

**Tabla 6. Sensibilidad y especificidad calculada de los productos de distorsión/otoemisiones acústicas calculadas en función de la audiometría Gold Standard. A 1.000 Hz.**

	OD		OI	
	Basal	Final	Basal	Final
Sensibilidad	0,20	0,43	0,50	0,20
Especificidad	0,55	0,73	0,64	0,74

Bajas según lo esperado, basado en la literatura revisada.



B. **Tablas de contingencia a 2.000Hz**, para oído derecho (OD) y oído izquierdo (OI), teniendo en cuenta valoración basal y final (tras 1 año) entre la audiometría(Au) y los productos distorsión/otoemisiones acústicas (dB SPL).

**Tabla 7. Contingencias a 2.000 Hz**

Au OD 2.000 Hz Basal * dB SPL				Au OD 2.000 Hz Final * dB SPL					
Tabla de Contingencia				Tabla de Contingencia					
		DP S/N level OD 2.000 HZ Basal		Total			DP S/N level OD 2.000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	56	12	68	0	Recuento	53	9	62
	% del total	80,0%	17,1%	97,1%		% del total	75,7%	12,9%	88,6%
1	Recuento	2	0	2	1	Recuento	6	2	8
	% del total	2,9%	0,0%	2,9%		% del total	8,6%	2,9%	11,4%
	Recuento	58	12	70		Recuento	59	11	70
	% del total	82,9%	17,1%	100,0%		% del total	84,3%	15,7%	100,0%

Au OI 2.000 Hz Basal * dB SPL				Au OI 2.000 Hz Final * dB SPL					
Tabla de Contingencia				Tabla de Contingencia					
		DP S/N level OI 2.000 HZ Basal		Total			DP S/N level OI 2.000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	55	13	68	0	Recuento	61	5	66
	% del total	78,6%	18,6%	97,1%		% del total	87,1%	7,1%	94,3%
1	Recuento	2	0	2	1	Recuento	4	0	4
	% del total	2,9%	0,0%	2,9%		% del total	5,7%	0,0%	5,7%
	Recuento	57	13	70		Recuento	65	5	70
	% del total	81,4%	18,6%	100,0%		% del total	92,9%	7,1%	100,0%

Donde "0" es el porcentaje de trabajadores a los cuales no se le ha detectado pérdida auditiva con la prueba, usando los valores pre establecido (superior a 25 dB para la audiometría por frecuencia estudiada y amplitud inferiores a 6 dB SPL por frecuencia estudiada) y "1" porcentaje de trabajadores a los cuales se la ha detectado la pérdida a través de la prueba.

En esta frecuencia, al igual que a los 1.000Hz, es mayor del 20%, el número de grupos con valores menor que 5, entonces la prueba estadística chi-cuadrado de independencia de tratamientos no será válida, por lo que tendremos que utilizar el test de Fisher para evaluar la asociación de las pruebas diagnóstico.

**Tabla 8. Test exacto de Fischer a 2.000 Hz entre audiométrica Vs productos de distorsión/otoemisiones acústicas, para oído derecho y odio izquierdo.**

Au OD inicial * dB SPL level inicial						Au OD Final * dB SPL level final					
	Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)		Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)
Prueba exacta de Fisher				1,000	,684	Prueba exacta de Fisher				,602	,368

Au OI inicial * dB SPL level inicial						Au OI Final * dB SPL level final					
	Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)		Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)
Prueba exacta de Fisher				1,000	,661	Prueba exacta de Fisher				1,000	,738

Existe significancia para P en todas las pruebas tanto en la valoración inicial como en la final, en oído derecho/odio izquierdo con valores superiores al nivel de significación 0,05 fijado, por lo que no podemos rechazar nuestra hipótesis nula, asumiendo que no existe relación entre las pruebas estudiadas a esta frecuencia.

**Tabla 9. Sensibilidad y especificad de los productos de distorsión/otoemisiones acústicas calculadas en función de la audiometría Gold Standard. A 2.000 Hz.**

	OD		OI	
	Basal	Final	Basal	Final
Especificidad	0,82352941	0,85483871	0,80882353	0,92424242
Sensibilidad	0,00	0,25	0,00	0,00

Bajas, según lo esperado, basado en la literatura revisada.

C. **Tablas de contingencia a 4.000Hz**, para oído derecho (OD) y oído izquierdo (OI), teniendo en cuenta valoración basal y final (tras 1 año) entre la audiometría(Au) y los productos distorsión/otoemisiones acústicas (dB SPL).

**Tabla 10. Contingencias a 4.000 Hz.**

Au OD 4.000 Hz Basal * dB SPL					Au OD 4.000 Hz Final * dB SPL				
Tabla de Contingencia					Tabla de Contingencia				
		DP S/N level OD 4.000 HZ Basal		Total			DP S/N level OD 4.000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	39	20	59	0	Recuento	38	10	48
	% del total	55,7%	28,6%	84,3%		% del total	54,3%	14,3%	68,6%
1	Recuento	6	5	11	1	Recuento	12	10	22
	% del total	8,6%	7,1%	15,7%		% del total	17,1%	14,3%	31,4%
	Recuento	45	25	70		Recuento	50	20	70
	% del total	64,3%	35,7%	100,0%		% del total	71,4%	28,6%	100,0%

Au OI 4.000 Hz Basal * dB SPL					Au OI 4.000 Hz Final * dB SPL				
Tabla de Contingencia					Tabla de Contingencia				
		DP S/N level OI 4.000 HZ Basal		Total			DP S/N level OI 4.000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	37	13	50	0	Recuento	35	12	47
	% del total	52,9%	18,6%	71,4%		% del total	50,0%	17,1%	67,1%
1	Recuento	6	14	20	1	Recuento	9	14	23
	% del total	8,6%	20,0%	28,6%		% del total	12,9%	20,0%	32,9%
	Recuento	43	27	70		Recuento	44	26	70
	% del total	61,4%	38,6%	100,0%		% del total	62,9%	37,1%	100,0%

Donde "0" es el porcentaje de trabajadores a los cuales no se le ha detectado pérdida auditiva con la prueba, usando los valores pre establecido (superior a 25 dB para la audiometría por frecuencia estudiada y amplitud inferiores a 6 dB SPL por frecuencia estudiada) y "1" porcentaje de trabajadores a los cuales se la ha detectado la pérdida a través de la prueba.

Para los 4.000 Hz, el número de grupos menores a 5, es menor del 20%, por lo que utilizamos es test de chi-cuadrado para evaluar la asociación de las pruebas diagnósticas.

**Tabla 11. Pruebas de chi-cuadrado a 4.000 Hz entre audiométrica Vs productos de distorsión/otoemisiones acústicas, para oído derecho y odio izquierdo.**

Au OD inicial * dB SPL level inicial						Au OD inicial * dB SPL level final					
Pruebas de chi-cuadrado						Pruebas de chi-cuadrado					
			Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)				Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)
	Valor	gl					Valor	gl			
Chi-cuadrado de Pearson	,539 <sup>a</sup>	1	,463			Chi-cuadrado de Pearson	4,481 <sup>a</sup>	1	,034		

Au OI inicial * dB SPL level inicial						Au OI inicial * dB SPL level final					
Pruebas de chi-cuadrado						Pruebas de chi-cuadrado					
			Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)				Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)
	Valor	gl					Valor	gl			
Chi-cuadrado de Pearson	11,673 <sup>a</sup>	1	,001			Chi-cuadrado de Pearson	8,260 <sup>a</sup>	1	,004		

En esta frecuencia, existe una significancia para P en las pruebas de valoración inicial como final, en oído derecho/odio izquierdo con valores inferiores al nivel de significación 0,05 fijado, por lo que podemos rechazar nuestra hipótesis nula, asumiendo que existe relación entre las pruebas estudiadas.

**Tabla 12. Estadísticos Kappa. Grado de concordancia entre las evaluaciones nominales (audiometría Vs Productos de distorsión/otoemisiones acústicas), al evaluar las mismas muestras a 4.000 Hz.**

Au OD Basal * dB SPL level Basal					Au OD Final * dB SPL level Final				
	Valor	Error estándar asintótico <sup>a</sup>	Aprox. S <sup>b</sup>	Aprox. Sig.		Valor	Error estándar asintótico <sup>a</sup>	Aprox. S <sup>b</sup>	Aprox. Sig.
Kappa	,076	,108	,734	,463	Kappa	,252	,123	2,117	,034
Au OI Basal * dB SPL level Basal					Au OI Final * dB SPL level Final				
	Valor	Error estándar asintótico <sup>a</sup>	Aprox. S <sup>b</sup>	Aprox. Sig.		Valor	Error estándar asintótico <sup>a</sup>	Aprox. S <sup>b</sup>	Aprox. Sig.
Kappa	,398	,112	3,417	,001	Kappa	,342	,116	2,874	,004

Para el índice Kappa hemos obtenidos valores en las frecuencias 4.000Hz, que van desde 0.252 a 0.398 y valores de P significativa entre 0.34 y 0.001 respectivamente. Con lo que se puede afirmar que la asociación entre ambas pruebas no es demasiado alta, aunque si es positiva y significativa.

**Tabla 13. Sensibilidad, especificidad y proporción de probabilidad de los productos de distorsión/otoemisiones acústicas calculadas en función de la audiometría Gold Standard. A 4.000 Hz.**

	OD		OI	
	Basal	Final	Basal	Final
Especificidad	0,66101695	0,79166667	0,74	0,74468085
Sensibilidad	0,45	0,45	0,70	0,61
LR+	1,34	2,18	2,69	2,38
LR-	0,83	0,69	0,41	0,53

Sensibilidad que va desde el 45% al 70 % y una especificidad entre el 66% al 79 %, las cuales concuerdan con los valores reportados en estudios previos de la literatura internacional.

Al evaluar la proporción de probabilidad (LR) para un resultado positivo (LR positivo) y para uno negativo (LR Negativo) obtuvimos: LR positivo entre 2.18 y 2.69 y LR Negativo entre 0.41 y 0.53 a los 4.000 HZ. Estos resultados muestran que existe una pequeña diferencia, que podría ser relevante entre las otoemisiones acústicas y el Gold Estándar (audiometría), en el momento de la detección temprana de la hipoacusia por ruido.

D. **Tablas de contingencia a 6.000Hz**, para oído derecho (OD) y oído izquierdo (OI), teniendo en cuenta valoración basal y final (tras 1 año) entre la audiometría(Au) y los productos distorsión/otoemisiones acústicas (dB SPL).

**Tabla 14. Contingencias a 6.000 Hz.**

Au OD 6.000 Hz Basal * dB SPL				Au OD 6.000 Hz Final * dB SPL					
Tabla de Contingencia				Tabla de Contingencia					
		DP S/N level OD 6.000 HZ Basal				DP S/N level OD 6.000 HZ Final			
		0	1	Total			Total		
0	Recuento	24	10	34	0	Recuento	22	9	31
	% del total	34,3%	14,3%	48,6%		% del total	31,4%	12,9%	44,3%
1	Recuento	15	21	36	1	Recuento	16	23	39
	% del total	21,4%	30,0%	51,4%		% del total	22,9%	32,9%	55,7%
	Recuento	39	31	70		Recuento	38	32	70
	% del total	55,7%	44,3%	100,0%		% del total	54,3%	45,7%	100,0%

Au OI 6.000 Hz Basal * dB SPL				Au OI 6.000 Hz Final * dB SPL					
Tabla de Contingencia				Tabla de Contingencia					
		DP S/N level OI 6.000 HZ Basal				DP S/N level OI 6.000 HZ Final			
		0	1	Total			Total		
0	Recuento	21	13	34	0	Recuento	22	8	30
	% del total	30,0%	18,6%	48,6%		% del total	31,4%	11,4%	42,9%
1	Recuento	11	25	36	1	Recuento	18	22	40
	% del total	15,7%	35,7%	51,4%		% del total	25,7%	31,4%	57,1%
	Recuento	32	38	70		Recuento	40	30	70
	% del total	45,7%	54,3%	100,0%		% del total	57,1%	42,9%	100,0%

Donde "0" es el porcentaje de trabajadores a los cuales no se le ha detectado pérdida auditiva con la prueba, usando los valores pre establecido (superior a 25 dB para la audiometría por frecuencia estudiada y amplitud inferiores a 6 dB SPL por frecuencia estudiada) y "1" porcentaje de trabajadores a los cuales se la ha detectado la pérdida a través de la prueba.

En 6.000 Hz, el número de grupos menores a 5, es menor del 20%, por lo que utilizamos es test de chi-cuadrado para evaluar la asociación de las pruebas diagnósticas.

**Tabla 15. Pruebas de chi-cuadrado a 6.000 Hz entre audiométrica Vs productos de distorsión/otoemisiones acústicas, para oído derecho y odio izquierdo.**

Au OD inicial * dB SPL level inicial						Au OD final * dB SPL level final					
Pruebas de chi-cuadrado						Pruebas de chi-cuadrado					
	Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)		Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)
Chi-cuadrado de Pearson	5,928a	1	,015			Chi-cuadrado de Pearson	6,240a	1	,012		

Au OI inicial * dB SPL level inicial						Au OI final * dB SPL level inicial					
Pruebas de chi-cuadrado						Pruebas de chi-cuadrado					
	Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)		Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)
Chi-cuadrado de Pearson	6,863a	1	,009			Chi-cuadrado de Pearson	5,619a	1	,018		

A los 6.000Hz existe significancia para P tanto en las pruebas de valoración inicial como final, en oído derecho/odio izquierdo con valores inferiores al nivel de significación 0,05 fijado, por lo que podemos rechazar nuestra hipótesis nula, asumiendo que existe relación entre las pruebas estudiadas.



**Tabla 16. Estadísticos Kappa. Grado de concordancia entre las evaluaciones nominales (audiometría Vs Productos de distorsión/otoemisiones acústicas), al evaluar las mismas muestras.**

Au OD Basal * dB SPL level Basal					Au OD final * dB SPL level final				
	Valor	Error estándar asintótico <sup>a</sup>	Aprox. S <sup>b</sup>	Aprox. Sig.		Valor	Error estándar asintótico <sup>a</sup>	Aprox. S <sup>b</sup>	Aprox. Sig.
Kappa	<b>,288</b>	,113	2,435	<b>,015</b>	Kappa	<b>,293</b>	,112	2,498	<b>,012</b>
Au OI Basal * dB SPL level Basal					Au OI final * dB SPL level final				
	Valor	Error estándar asintótico <sup>a</sup>	Aprox. S <sup>b</sup>	Aprox. Sig.		Valor	Error estándar asintótico <sup>a</sup>	Aprox. S <sup>b</sup>	Aprox. Sig.
Kappa	<b>,313</b>	,113	2,620	<b>,009</b>	Kappa	<b>,272</b>	,110	2,371	<b>,018</b>

Para el índice Kappa hemos obtenidos valores en las frecuencias 6000Hz, que van desde 0.72 a 0.313 y valores de P significativa entre 0.18 y 0.009 respectivamente. Con lo que podemos concluir que esta frecuencia se objetiva asociación entre ambas pruebas, la cual no es demasiado alta, aunque si es positiva y significativa.

**Tabla 17. Sensibilidad, especificidad y proporción de probabilidad de los productos de distorsión/otoemisiones acústicas calculadas en función de la audiometría Gold Standard. A 6.000 Hz.**

	OD		OI	
	Basal	Final	Basal	Final
Sensibilidad	0,58	0,59	0,69	0,55
Especificidad	0,70588235	0,70967742	0,61764706	0,73333333
LR+	1,98	<b>2,03</b>	1,82	<b>2,06</b>
LR-	<b>0,59</b>	<b>0,58</b>	<b>0,49</b>	<b>0,61</b>

Sensibilidad que va desde el 55% al 69 % y una especificidad entre el 61% al 73 %, las cuales concuerdan con los valores reportados en estudios previos de la literatura internacional.

Al evaluar la proporción de probabilidad (LR), LR positivo entre 2.03 y 2.06 y LR Negativo entre 0.49 y 0.58 a los 6000 HZ. Al igual que a los 4.000 Hz, estos resultados muestran que existe una pequeña diferencia, que podría ser relevante entre las otoemisiones acústicas y el Gold Estándar (audiometría), en el momento de la detección temprana de la hipoacusia por ruido.

- E. **Tablas de contingencia a 8.000Hz**, para oído derecho (OD) y oído izquierdo (OI), teniendo en cuenta valoración basal y final (tras 1 año) entre la audiometría(Au) y los productos distorsión/otoemisiones acústicas (dB SPL).

**Tabla 18. Contingencias a 8.000 Hz.**

Au OD 8.000 Hz Basal * dB SPL				Au OD 8.000 Hz Final * dB SPL					
Tabla de Contingencia				Tabla de Contingencia					
		DP S/N level OD 8.000 HZ Basal		Total			DP S/N level OD 8.000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	25	15	40	0	Recuento	24	13	37
	% del total	35,7%	21,4%	57,1%		% del total	34,3%	18,6%	52,9%
1	Recuento	9	21	30	1	Recuento	20	13	33
	% del total	12,9%	30,0%	42,9%		% del total	28,6%	18,6%	47,1%
	Recuento	34	36	70		Recuento	44	26	70
	% del total	48,6%	51,4%	100,0%		% del total	62,9%	37,1%	100,0%

Au OI 8.000 Hz Basal * dB SPL				Au OI 8.000 Hz Final * dB SPL					
Tabla de Contingencia				Tabla de Contingencia					
		DP S/N level OI 8000 HZ Basal		Total			DP S/N level OI 8000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	27	10	37	0	Recuento	24	14	38
	% del total	38,6%	14,3%	52,9%		% del total	34,3%	20,0%	54,3%
1	Recuento	18	15	33	1	Recuento	12	20	32
	% del total	25,7%	21,4%	47,1%		% del total	17,1%	28,6%	45,7%
	Recuento	45	25	70		Recuento	36	34	70
	% del total	64,3%	35,7%	100,0%		% del total	51,4%	48,6%	100,0%

Donde "0" es el porcentaje de trabajadores a los cuales no se le ha detectado pérdida auditiva con la prueba, usando los valores pre establecido (superior a 25 dB para la audiometría por frecuencia estudiada y amplitud inferiores a 6 dB SPL por frecuencia estudiada) y "1" porcentaje de trabajadores a los cuales se la ha detectado la pérdida a través de la prueba.

En esta frecuencia el número de grupos menores a 5, es menor del 20%, por lo que utilizamos es test de chi-cuadrado para evaluar la asociación de las pruebas diagnósticas.

**Tabla 19. Pruebas de chi-cuadrado a 8.000 Hz entre audiométrica Vs productos de distorsión/otoemisiones acústicas, para oído derecho y odio izquierdo.**

Au OD inicial * dB SPL level inicial						Au OD final * dB SPL level final					
Pruebas de chi-cuadrado						Pruebas de chi-cuadrado					
	Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)		Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)
Chi-cuadrado de Pearson	7,249 <sup>a</sup>	1	<b>,007</b>			Chi-cuadrado de Pearson	,136 <sup>a</sup>	1	,713		
Au OI inicial * dB SPL level inicial						Au OI final * dB SPL level final					
Pruebas de chi-cuadrado						Pruebas de chi-cuadrado					
	Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)		Valor	gl	Sig. asintótica (2 caras)	Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)
Chi-cuadrado de Pearson	2,580 <sup>a</sup>	1	,108			Chi-cuadrado de Pearson	4,578 <sup>a</sup>	1	<b>,032</b>		

En esta frecuencia existe significancia para P en las pruebas de valoración inicial en oído derecho y final en odio izquierdo en valores inferiores al nivel de significación 0,05 fijado, por lo que podemos rechazar nuestra hipótesis nula, asumiendo que existe relación entre las pruebas estudiadas.

**Tabla 20. Estadísticos Kappa. Grado de concordancia entre las evaluaciones nominales (audiometría Vs Productos de distorsión/otoemisiones acústicas), al evaluar las mismas muestras.**

Au OD Basal * DP S/N level Basal					Au OD Final * DP S/N level Final				
	Valor	Error estándar asintótico <sup>a</sup>	Aprox. S <sup>b</sup>	Aprox. Sig.		Valor	Error estándar asintótico <sup>a</sup>	Aprox. S <sup>b</sup>	Aprox. Sig.
Kappa	<b>,317</b>	,112	2,692	<b>,007</b>	Kappa	,043	,117	,368	,713
Au OI Basal * DP S/N level Basal					Au OI Final * DP S/N level Final				
	Valor	Error estándar asintótico <sup>a</sup>	Aprox. S <sup>b</sup>	Aprox. Sig.		Valor	Error estándar asintótico <sup>a</sup>	Aprox. S <sup>b</sup>	Aprox. Sig.
Kappa	,187	,115	1,606	,108	Kappa	<b>,255</b>	,115	2,140	<b>,032</b>

A los 8.000 Hz, tenemos índices Kappa, que van desde 0.255 a 0.317 y valores de P significativa entre 0.32 y 0.007 respectivamente. Con lo que podemos concluir que esta frecuencia se objetiva asociación entre ambas pruebas, siendo menor si la comparamos con los 4.000Hz y 6.000 Hz, la cual no es demasiado alta, aunque si es positiva y significativa.

**Tabla 21. Sensibilidad, especificidad y proporción de probabilidad de los productos de distorsión/otoemisiones acústicas calculadas en función de la audiometría Gold Standard. A 8.000 Hz.**

	OD		OI	
	Basal	Final	Basal	Final
Especificidad	0,625	0,64864865	0,72972973	0,63157895
Sensibilidad	0,70	0,39	0,45	0,63
LR+	1,87	1,12	1,68	1,70
LR-	0,48	0,93	0,75	0,59

En nuestro estudio encontramos sensibilidad y especificidad baja a esta frecuencia en relación con los publicado con la literatura.

Al evaluar la proporción de probabilidad positiva como negativa resultados observamos que no muestran que exista diferencia entre las otoemisiones acústicas y el Gold Estándar (audiometría), en el momento de la detección temprana de la hipoacusia por ruido a esta frecuencia.

***Del grupo de expuestos podemos inferir:***

- Partiendo del punto de que las frecuencias 4.000 Hz y 6.000 Hz son las primeras afectadas en la hipoacusia asociada al ruido, el presente estudio muestra una sensibilidad para los 4.000 Hz que va desde un 45% al 70 % y una especificidad entre el 66% al 79 %.  
Para los 6.000 Hz obtuvimos sensibilidad entre el 55% al 69% y una especificidad entre el 62% al 73 %.  
Ambos datos concuerdan con los valores reportados en estudios previos de la literatura internacional.
- La prueba de chi-cuadrado a los 4.000 Hz, 6.000 Hz y 8.000 Hz, nos muestra resultados con valores de P significativos que oscilan entre 0.001 y 0.032, con lo que podemos rechazar nuestra hipótesis nula de independencia y concluir que existe asociación entre las pruebas estudiadas.
- Para el índice Kappa hemos obtenidos valores en las frecuencias 4.000Hz, 6.000Hz y 8.000Hz que van desde 0.252 a 0.398 (Valores de P entre 0.034 y 0.001 respectivamente).  
Con lo que se puede pensar que la asociación entre ambas pruebas estudiadas, no siendo demasiado alta, resulta que **es positiva y significativa**.
- Al evaluar la proporción de probabilidad (LR) para un resultado positivo (LR positivo) y para uno negativo (LR Negativo) obtuvimos: LR positivo entre 2.18 y 2.69 y LR Negativo entre 0.41 y 0.53 a los 4000 HZ.  
LR positivo entre 2.03 y 2.06 y LR Negativo entre 0.49 y 0.58 a los 6000 HZ.  
Estos resultados muestran que existe una pequeña diferencia, que podría ser relevante entre las otoemisiones acústicas y el Gold Estándar (audiometría), en el momento de la detección temprana de la hipoacusia por ruido.

- Se aprecia una tendencia creciente en cuanto al grado de asociación de las técnicas de diagnóstico a estudio, de tal forma que, a mayor “frecuencia” mayor concordancia entre los resultados de ambas pruebas, siendo para los casos de 1.000Hz y 2.000Hz nula dicha concordancia para todos los casos, es decir, tanto para oído izquierdo como derecho, tanto para basal como para final.
- De igual manera interpretamos los resultados del grado de asociación Kappa. El cual nos muestra mayor grado de asociación a “frecuencias” mayores.

## Resultados en la población a estudio NO expuesta al ruido (GRUPO CONTROL)

A. **Tablas de contingencia a 1.000Hz**, para oído derecho (OD) y oído izquierdo (OI), teniendo en cuenta valoración basal y final (tras 1 año) entre la audiometría(Au) y los productos distorsión/otoemisiones acústicas (dB SPL). Con sensibilidad, especificidad y proporción de probabilidad.

**Tabla 22. Contingencias grupo control a 1.000 Hz.**

Au OD 1.000 Hz Basal * dB SPL					Au OD 1.000 Hz Final * dB SPL				
Tabla de Contingencia					Tabla de Contingencia				
		DP S/N level OD 1.000 HZ Basal		Total			DP S/N level OD 1.000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	34	2	36	0	Recuento	34	2	36
	% del total	91,9%	5,4%	97,3%		% del total	91,9%	5,4%	97,3%
1	Recuento	1	0	1	1	Recuento	1	0	1
	% del total	2,7%	0,0%	2,7%		% del total	2,7%	0,0%	2,7%
	Recuento	35	2	37		Recuento	35	2	37
	% del total	94,6%	5,4%	100,0%		% del total	94,6%	5,4%	100,0%
Au OI 1.000 Hz Basal * dB SPL					Au OI 1.000 Hz Final * dB SPL				
Tabla de Contingencia					Tabla de Contingencia				
		DP S/N level OI 1.000 HZ Basal		Total			DP S/N level OI 1.000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	36	0	36	0	Recuento	32	4	36
	% del total	97,3%	0,0%	97,3%		% del total	86,5%	10,8%	97,3%
1	Recuento	0	1	1	1	Recuento	1	0	1
	% del total	0,0%	2,7%	2,7%		% del total	2,7%	0,0%	2,7%
	Recuento	36	1	37		Recuento	33	4	37
	% del total	97,3%	2,7%	100,0%		% del total	89,2%	10,8%	100,0%
OD					OI				
		Basal	Final			Basal	Final		
Sensibilidad		0,00	0,00			1,00	0,00		
Especificidad		0,94	0,94			1,00	0,89		
LR+		0,00	0,00			0,00	0,00		
LR-		1,06	1,06			0,00	1,13		



B. **Tablas de contingencia a 2.000Hz**, para oído derecho (OD) y oído izquierdo (OI), teniendo en cuenta valoración basal y final (tras 1 año) entre la audiometría(Au) y los productos distorsión/otoemisiones acústicas (dB SPL). Con sensibilidad, especificidad y proporción de probabilidad.

**Tabla 23. Contingencias grupo control a 2.000 Hz.**

Au OD 2.000 Hz Basal * dB SPL					Au OD 2.000 Hz Final * dB SPL				
Tabla de Contingencia					Tabla de Contingencia				
		DP S/N level OD 2.000 HZ Basal		Total			DP S/N level OD 2.000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	34	1	35	0	Recuento	35	1	36
	% del total	91,9%	2,7%	94,6%		% del total	94,6%	2,7%	97,3%
1	Recuento	2	0	2	1	Recuento	1	0	1
	% del total	5,4%	0,0%	5,4%		% del total	2,7%	0,0%	2,7%
	Recuento	36	1	37		Recuento	36	1	37
	% del total	97,3%	2,7%	100,0%		% del total	97,3%	2,7%	100,0%

Au OI 2.000 Hz Basal * dB SPL					Au OI 2.000 Hz Final * dB SPL				
Tabla de Contingencia					Tabla de Contingencia				
		DP S/N level OI 2.000 HZ Basal		Total			DP S/N level OI 2.000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	36	0	36	0	Recuento	35	0	35
	% del total	97,3%	0,0%	97,3%		% del total	94,6%	0,0%	94,6%
1	Recuento	0	1	1	1	Recuento	0	2	2
	% del total	0,0%	2,7%	2,7%		% del total	0,0%	5,4%	5,4%
	Recuento	36	1	37		Recuento	35	2	37
	% del total	97,3%	2,7%	100,0%		% del total	94,6%	5,4%	100,0%

	OD		OI	
	Basal	Final	Basal	Final
Especificidad	0,97142857	0,97222222	1	1
Sensibilidad	0,00	0,00	1,00	1,00
LR+	0,00	0,00	5,23	13,20
LR-	1,21	1,17	0,00	0,00

C. **Tablas de contingencia a 4.000Hz**, para oído derecho (OD) y oído izquierdo (OI), teniendo en cuenta valoración basal y final (tras 1 año) entre la audiometría(Au) y los productos distorsión/otoemisiones acústicas (dB SPL). Con sensibilidad, especificidad y proporción de probabilidad.

**Tabla 24. Contingencias grupo control a 4.000 Hz.**

Au OD 4.000 Hz Basal * dB SPL					Au OD 4.000 Hz Final * dB SPL				
Tabla de Contingencia					Tabla de Contingencia				
		DP S/N level OD 4.000 HZ Basal		Total			DP S/N level OD 4.000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	31	4	35	0	Recuento	31	4	35
	% del total	83,8%	10,8%	94,6%		% del total	83,8%	10,8%	94,6%
1	Recuento	1	1	2	1	Recuento	1	1	2
	% del total	2,7%	2,7%	5,4%		% del total	2,7%	2,7%	5,4%
	Recuento	32	5	37		Recuento	32	5	37
	% del total	86,5%	13,5%	100,0%		% del total	86,5%	13,5%	100,0%

Au OI 4000 Hz Basal * dB SPL					Au OI 4000 Hz Final * dB SPL				
Tabla de Contingencia					Tabla de Contingencia				
		DP S/N level OI 4.000 HZ Basal		Total			DP S/N level OI 4.000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	31	4	35	0	Recuento	32	0	32
	% del total	83,8%	10,8%	94,6%		% del total	86,5%	0,0%	86,5%
1	Recuento	1	1	2	1	Recuento	4	1	5
	% del total	2,7%	2,7%	5,4%		% del total	10,8%	2,7%	13,5%
	Recuento	32	5	37		Recuento	36	1	37
	% del total	86,5%	13,5%	100,0%		% del total	97,3%	2,7%	100,0%

	OD		OI	
	Basal	Final	Basal	Final
Especificidad	0,88571429	0,88571429	0,8857143	1
Sensibilidad	0,50	0,50	0,50	0,20
LR+	1,48	2,40	1,92	0,78
LR-	0,76	0,63	0,68	1,07

D. **Tablas de contingencia a 6.000Hz**, para oído derecho (OD) y oído izquierdo (OI), teniendo en cuenta valoración basal y final (tras 1 año) entre la audiometría(Au) y los productos distorsión/otoemisiones acústicas (dB SPL). Con sensibilidad, especificidad y proporción de probabilidad.

**Tabla 25. Contingencias grupo control a 6.000 Hz.**

Au OD 6.000 Hz Basal * dB SPL				Au OD 6.000 Hz Final * dB SPL					
Tabla de Contingencia				Tabla de Contingencia					
		DP S/N level OD 6.000 HZ Basal		Total			DP S/N level OD 6.000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	29	4	33	0	Recuento	29	2	31
	% del total	78,4%	10,8%	89,2%		% del total	78,4%	5,4%	83,8%
1	Recuento	2	2	4	1	Recuento	4	2	6
	% del total	5,4%	5,4%	10,8%		% del total	10,8%	5,4%	16,2%
	Recuento	31	6	37		Recuento	33	4	37
	% del total	83,8%	16,2%	100,0%		% del total	89,2%	10,8%	100,0%

Au OI 6.000 Hz Basal * dB SPL				Au OI 6.000 Hz Final * dB SPL					
Tabla de Contingencia				Tabla de Contingencia					
		DP S/N level OI 6.000 HZ Basal		Total			DP S/N level OI 6.000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	25	7	32	0	Recuento	27	3	30
	% del total	67,6%	18,9%	86,5%		% del total	73,0%	8,1%	81,1%
1	Recuento	3	2	5	1	Recuento	6	1	7
	% del total	8,1%	5,4%	13,5%		% del total	16,2%	2,7%	18,9%
	Recuento	28	9	37		Recuento	33	4	37
	% del total	75,7%	24,3%	100,0%		% del total	89,2%	10,8%	100,0%

	OD		OI	
	Basal	Final	Basal	Final
Especificidad	0,87878788	0,93548387	0,78125	0,9
Sensibilidad	0,50	0,33	0,40	0,14
LR+	1,70	1,15	1,05	0,54
LR-	0,71	0,94	0,97	1,17

E. **Tablas de contingencia a 8.000Hz**, para oído derecho (OD) y oído izquierdo (OI), teniendo en cuenta valoración basal y final (tras 1 año) entre la audiometría(Au) y los productos distorsión/otoemisiones acústicas (dB SPL). Con sensibilidad, especificidad y proporción de probabilidad.

**Tabla 26. Contingencias grupo control a 8.000 Hz.**

Au OD 8.000 Hz Basal * dB SPL				Au OD 8.000 Hz Final * dB SPL					
Tabla de Contingencia				Tabla de Contingencia					
		DP S/N level OD 8.000 HZ Basal		Total			DP S/N level OD 8.000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	29	5	34	0	Recuento	32	2	34
	% del total	78,4%	13,5%	91,9%		% del total	86,5%	5,4%	91,9%
1	Recuento	2	1	3	1	Recuento	1	2	3
	% del total	5,4%	2,7%	8,1%		% del total	2,7%	5,4%	8,1%
	Recuento	31	6	37		Recuento	33	4	37
	% del total	83,8%	16,2%	100,0%		% del total	89,2%	10,8%	100,0%

Au OI 8000 Hz Basal * dB SPL				Au OI 8000 Hz Final * dB SPL					
Tabla de Contingencia				Tabla de Contingencia					
		DP S/N level OI 8.000 HZ Basal		Total			DP S/N level OI 8.000 HZ Final		Total
		0	1				0	1	
0	Recuento	26	6	32	0	Recuento	31	2	33
	% del total	70,3%	16,2%	86,5%		% del total	83,8%	5,4%	89,2%
1	Recuento	4	1	5	1	Recuento	1	3	4
	% del total	10,8%	2,7%	13,5%		% del total	2,7%	8,1%	10,8%
	Recuento	30	7	37		Recuento	32	5	37
	% del total	81,1%	18,9%	100,0%		% del total	86,5%	13,5%	100,0%

	OD		OI	
	Basal	Final	Basal	Final
Especificidad	0,85294118	0,94117647	0,8125	0,93939394
Sensibilidad	0,33	0,67	0,20	0,75
LR+	0,89	1,90	0,74	2,04
LR-	1,07	0,51	1,10	0,40

**Tabla 27. Test exacto de Fischer**, por frecuencias estudiadas, para oído izquierdo (OI). Teniendo en cuenta valoración basal y final (tras 1 año) entre la audiometría (Au) y los productos distorsión/otoemisiones acústicas (dB SPL).

Au OD Basal * dB SPL. Basal				Au OD Final * dB SPL. Final		
		Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)		Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)
1.000 Hz	Prueba exacta de Fisher	1,000	0,946	Prueba exacta de Fisher	1,000	0,946
	Prueba exacta de Fisher	1,000	0,946	Prueba exacta de Fisher	1,000	0,973
2.000 Hz	Prueba exacta de Fisher	0,255	0,255	Prueba exacta de Fisher	0,107	0,107
	Prueba exacta de Fisher	0,115	0,115	Prueba exacta de Fisher	0,115	0,115
4.000 Hz	Prueba exacta de Fisher	0,421	0,421	Prueba exacta de Fisher	0,026	0,026
	Prueba exacta de Fisher			Prueba exacta de Fisher		
6.000 Hz	Prueba exacta de Fisher			Prueba exacta de Fisher		
	Prueba exacta de Fisher			Prueba exacta de Fisher		
8.000 Hz	Prueba exacta de Fisher			Prueba exacta de Fisher		
	Prueba exacta de Fisher			Prueba exacta de Fisher		

Au OI Basal * dB SPL. Basal				Au OI Final * dB SPL. Basal		
		Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)		Significación exacta (2 caras)	Significación exacta (1 cara)
1.000 Hz	Prueba exacta de Fisher	0,027	0,027	Prueba exacta de Fisher	1,000	0,892
	Prueba exacta de Fisher	0,027	0,027	Prueba exacta de Fisher	0,002	0,002
2.000 Hz	Prueba exacta de Fisher	0,255	0,255	Prueba exacta de Fisher	0,135	0,135
	Prueba exacta de Fisher	0,577	0,352	Prueba exacta de Fisher	1,000	0,585
4.000 Hz	Prueba exacta de Fisher	1,000	0,673	Prueba exacta de Fisher	0,005	0,005
	Prueba exacta de Fisher			Prueba exacta de Fisher		
6.000 Hz	Prueba exacta de Fisher			Prueba exacta de Fisher		
	Prueba exacta de Fisher			Prueba exacta de Fisher		
8.000 Hz	Prueba exacta de Fisher			Prueba exacta de Fisher		
	Prueba exacta de Fisher			Prueba exacta de Fisher		

***Grupo NO expuesto al ruido (Control) podemos inferir:***

- Para el caso del grupo control no encontramos ningún patrón en cuanto a la asociación de las pruebas, por lo que concluimos que para el grupo estudiado existe una relación dispar o aparentemente aleatoria para la concordancia de las pruebas diagnósticas.

## **DISCUSIÓN**

## 8. DISCUSIÓN

Durante muchos años, los especialistas en medicina del trabajo, salud ocupacional y otorrinolaringología han dirigido su empeño en la búsqueda de técnicas, procedimientos y protocolos para la detección temprana de la hipoacusia neurosensorial secundaria a la exposición a ruido.

Este riesgo, ruido, acompaña a la sociedad desde el advenimiento de la industrialización.

Para el diagnóstico, seguimiento y control se utiliza sobre todo la audiometría en los Servicio de Prevención de Riesgos Laborales.

Esta prueba presenta una sensibilidad que oscila entre el 79 % al 95% y especificidad del 84% al 87% para la detección de la hipoacusia por ruido (19), a pesar de esto presenta desventajas importantes como son: la subjetividad en el momento de realizar la prueba, depender en gran parte de la respuesta dada por el paciente, al igual que de la calidad del equipo (cabinas insonorizadas de forma correcta según legislación) y su calibración, entre otras.

Aún siendo útil para el diagnóstico de la hipoacusia (instaurada), el paciente que presente pérdida auditiva diagnosticada a través de la audiometría convencional, en el caso de que la hipoacusia sea consecuencia de exposición a por ruido, no serán reversibles.

Ejemplo de su reconocida utilidad como herramienta diagnóstica frente a la hipoacusia inducida por ruido son las numerosas publicaciones a nivel internacional y nacional, Masterson y colaboradores (6), el cual reúne una muestra de 1,413,789 audiogramas de trabajadores expuestos al ruido en estados unidos entre el 2003-2012, para hacer seguimiento de su exposición laboral, sus resultados estimaron la prevalencia en seis niveles de deterioro auditivo, medidos en el mejor oído y el impacto en la calidad de vida expresada como años anuales de vida ajustados por discapacidad tal como se define en el Estudio de Carga Global de Enfermedad. El sector minero tuvo la mayor prevalencia de trabajadores con deficiencia auditiva, seguida por la construcción y fabricación Sectores.



La normativa ISO desde 1999, preconiza el uso de la audiometría como pruebas de diagnóstica frente a la pérdida auditiva asociada al ruido (22).

En España la legislación actual toma como base el uso de la audiometría para la valoración de la discapacidad auditiva, seguimiento y vigilancia de la salud del personal expuesto al ruido (12,13,14,15).

Los productos de distorsión/otoemisiones acústicas a pesar de estar descritos como prueba acuamétrica en el protocolo de vigilancia específica para ruido en España (12), no es una prueba que se utilice de manera rutinaria en los Servicios de Prevención de Riesgos Laborales, quizá por ser poco conocida o de difícil interpretación.

Las publicaciones que sobre otoemisiones acústicas se han encontrado, en su gran mayoría, hacen referencia a la utilidad de la prueba para comparar la exploración en la misma persona en momentos diferentes y ver sus variaciones.

Basándonos en ello nuestro trabajo se ha encaminado precisamente a establecer esta relación evolutiva en la población a estudio comparando cada trabajador consigo mismo en dos estudios diferentes en el tiempo y ver el comportamiento de la prueba y su utilidad entre trabajadores expuestos a ruido y un grupo de trabajadores no expuesto. Con este estudio, hemos podido comprobar que existe una **concordancia significativa** entre los productos de distorsión (otoemisiones acústicas) con la audiometría (prueba Gold estándar), encontrando una tendencia creciente en cuanto al grado de asociación estadística entre ambas, de tal forma que a mayor “frecuencia” mayor concordancia entre los resultados de ambas pruebas siendo los máximos entre 4.000Hz y 6.000 Hz y para los casos de 1000Hz y 2000Hz nula e inexistente.

***La concordancia es aplicable*** a todos los casos, es decir, tanto para oído izquierdo como derecho, ***tanto para la medición inicial, como para la final***. Al estudiar la ***proporción de probabilidad tanto para valores positivos como negativos se demuestra que existe una pequeña diferencia, pero significativa que podría ser relevante entre las otoemisiones acústicas y el Gold Estándar (audiometría), en el momento de la detección temprana de la hipoacusia por ruido***.

En esta línea el trabajo de JOB y colaboradores (57) se propone que en los adultos expuestos a un ambiente de trabajo ruidoso y con audiometría normal, las otoemisiones acústicas constituirían una herramienta objetiva para el estudio de la hipoacusia, relacionando niveles bajos de emisiones acústicas con la pérdida auditiva.

Seixas y colaboradores (58), demuestra que los trabajadores de la construcción en sus primeros tres años de trabajo, con una exposición media al ruido inferior a 90 dBA, tienen pérdidas medibles de la función auditiva detectadas a través de productos de distorsión/otoemisiones acústicas, la cual parece ser más sensible a estos cambios tempranos de lo que es evidente con la audiometría de tono puro estándar.

Si tenemos en cuenta lo descrito por este autor, se espera que en los trabajadores expuesto a ambiente con niveles de ruidos elevado (85 – 90 Laeq,d) después de los primeros 3 años, se encuentren pérdidas auditivas para los 4.000 Hz en la audiometría tonal entre 0.9 y 2 dB por año, de acuerdo con los modelos estandarizados para la predicción de la hipoacusia por ruido (modelo ANSI) (59). Mientras que para los productos de distorsión/otoemisiones acústicas se esperan pérdidas de amplitud del valor dB SPL entre los -0.4 y -0.5 dB por año (suma de los coeficientes de años transcurridos desde la línea de base y términos de interacción) para los grupos de bajos y altos de exposición, respectivamente).

Se ha comprobado la utilidad del uso de los productos de distorsión/otoemisiones y se conoce el modelo actual propuesto según el REAL DECRETO 286/2006 (20), en orden a la vigilancia de la salud para niveles de ruido inferiores a Laeq,d=85dB(A), ***el cual recomienda controles audiométricos cada 5 años, por lo que, según nuestro estudio, podríamos hablar de que estaríamos valorando a trabajadores con probables pérdidas de 4,5 dB aproximadamente para los 4.000 HZ, en este periodo de tiempo.*** (teniendo como signos de alerta el desplazamiento del umbral estándar de 10 dB o mayor cambio a peor; en cualquier oído, la línea de base relativa, para el promedio de tonos puros en 2,3,4 kHz en un año). ***Así mismo para los productos de distorsión/Otoemisiones acústicas haciendo referencia a Laeq,d=85dB(A), la pérdidas de la amplitud de los dB SPL sería de 2dB en 5 años (en los 4.000Hz).***

En el Real Decreto se establece como límite máximo los  $L_{aeq,d}=87\text{dB(A)}$ , valor que no debe superarse en ningún caso, recomendando para valores entre  $L_{aeq,d}=85\text{dB(A)}$  y los  $L_{aeq,d}=87\text{dB(A)}$  control audiométricos cada 3 años, en los cuales deberíamos esperar pérdidas a las descritas por año.

A la vista de los resultados obtenidos en este trabajo de tesis doctoral, podríamos establecer un protocolo de actuación recomendando el uso de los productos de distorsión/otoemisiones como una nueva herramienta sumada a las estrategias propuesta por el RD 286/2006 (20). Su utilización ***estaría indicado para el seguimiento de todos los trabajadores expuestos a niveles de ruido elevado entre  $L_{aeq,d}=80-85\text{dB(A)}$  y  $L_{pico}=135-137\text{dB(C)}$  al cumplir los 3 años de exposición, buscando pérdidas mayores de amplitud en los valores de dB SPL a las esperadas entre los -0.4 y -0.5 dB por año.***

***En el caso de que estas pérdidas de amplitud fuesen mayores a las esperadas para ese trabajador, deberían en primer lugar descartarse:***

- Factores extra laborales que puedan perjudicar la audición: Medicamentos ototóxicos, traumatismo craneoencefálico, contaminación ambiental por ruido extra laboral, patologías de cualquier índole que afecten el oído (diabetes, HTA, infecciones, entre otras) o cualquier otro factor externo que se haya descrito como potencialmente lesivo para la audición.
- Deberían realizarse nuevas mediciones higiénicas y de seguridad en el puesto de trabajo para confirmar los valores reales de ruido a los que se encuentra expuesto el trabajador.
- Se debería complementar el estudio con una audiometría diagnóstica y comparar sus resultados con la inicial (desplazamiento del umbral estándar de 10 dB o mayor cambio a peor; en cualquier oído, la línea de base relativa, para el promedio de tonos puros en 2,3,4 kHz en un año).

- Reforzar medidas educativas y formación del trabajador sobre el uso de EPIs, **considerando la protección auditiva como obligatoria para su caso.**
- Clasificar al trabajador como ***probablemente sensible al ruido.***
- Programarlo para próximo control de Productos de distorsión y audiometría a los 5 años como estable en RD.

En el caso de valores entre  $L_{aeq,d}=85-87\text{dB(A)}$  y  $L_{pico}=137-140\text{dB(C)}$ , La legislación actual recomienda la realización de audiometrías de control cada 3 años y se propone, conociendo la posibilidad de detectar de forma precoz la afectación del trabajador con una prueba no cruenta y con un coste eficacia elevada, como en el caso anterior :

- Descartar factores extralaborales que puedan perjudicar la audición
- ***El realizar productos de distorsión/otoemisiones acústicas buscando las pérdidas de amplitud ya descritas (pérdidas mayores de amplitud en los valores de dB SPL a las esperadas entre los -0.4 y -0.5 dB por año). Si estas mediciones superan los valores descritos esperados y la audiometría no presenta cambios significativos siendo considerada como normal, proponemos reforzar medidas educativas en formación del trabajador sobre el uso de EPIs, considerando la protección auditiva como obligatoria para su caso.***
- Tras el segundo control en los próximos tres años, si los productos de distorsión/otoemisiones acústicas continuasen con pérdidas de amplitud por encima de los valores esperados (-2 dB en 5 años) y la audiometría se mantuviese sin cambio o con pérdidas inferiores a la esperadas para esta prueba en este periodo de tiempo (4,5 dB), se propondría un cambio de puesto para el trabajador, un estudio y

mejora de las condiciones higiénicas y de seguridad en el puesto de trabajo.

En el caso de que se proponga un cambio de puesto a uno libre de ruido, sería indispensables revisiones anuales de su capacidad auditiva usando los productos de distorsión/otoemisiones acústicas y audiometría, donde se buscaría la estabilización de la pérdida por audiometría y en el caso de los productos de distorsión la mejoría en las amplitudes de los valores de dB SPL alteradas previamente (60).

## **CONCLUSIONES**

## 9. CONCLUSIONES

PRIMERA: Los productos de distorsión/otoemisiones acústicas (DPOAE), han demostrado en el presente estudio una asociación positiva y significativa en las frecuencias agudas: 4.000 Hz, 6.000Hz y 8.000 Hz al ser comparada con la prueba Gold estándar (audiometría), para la detección de la hipoacusia asociada a ruido.

SEGUNDA: Los productos de distorsión/otoemisiones acústicas (DPOAE) han resultado de utilidad en la detección temprana de la hipoacusia a consecuencia de exposición al ruido.

TERCERA: La media de la pérdida auditiva binaural por audiometría de los trabajadores expuesto a ruido en el Hospital General Universitario Gregorio Marañón ha sido de 14 dB, la cual se mantuvo estable con 15 dB tras pasar un año de exposición.

CUARTA: Los productos de distorsión/otoemisiones acústicas (DPOAE) se considera una prueba de detección precoz y una herramienta útil y complementaria a la audiometría para el diagnóstico y seguimiento de los trabajadores expuestos al ruido.

QUINTA: Se considera que podría ser de utilidad el introducir la realización de los productos de distorsión de forma sistematizada en los exámenes de salud de los Servicios Prevención de Riesgos laborales.

## **RESUMEN**



## 10. RESUMEN

### **Predicción mediante productos de distorsión de hipoacusia en Trabajadores Expuestos al Ruido en el Hospital General universitario**

**Gregorio Marañón**

#### **Palabras clave:**

Ruido, hipoacusia inducida por ruido, hipoacusia neurosensorial, prevención de la hipoacusia, audiometría, otoemisiones acústicas, productos de distorsión.

#### **Introducción:**

La Hipoacusia inducida por ruido se define como la disminución de la capacidad auditiva de uno o ambos oídos, parcial o total, permanente y acumulativa, de tipo neurosensorial que se origina gradualmente, durante y como resultado de la exposición a niveles perjudiciales de ruido en el ambiente laboral, de tipo continuo o intermitente de intensidad relativamente alta ( $> 85$  dB) durante un periodo prolongado de tiempo.

En España el ruido es el contaminante ambiental más frecuente encontrado en el conjunto de todos los sectores de la actividad, según las estadísticas de enfermedades profesionales declaradas ante el ministerio de trabajo en los últimos 10 años, ocupa el tercer lugar de frecuencia después de la tendinopatías por sobre uso y neuropatías periféricas secundarias presión (10).

En la actualidad el diagnóstico y seguimiento de los trabajadores expuesto al ruido se realiza con la audiometría, considerada como Prueba Gold estándar (19), a pesar de esto presenta desventajas importantes como son, la subjetividad en el momento de realizar la prueba, depender en gran parte de la respuesta dada por el paciente, al igual que de la calidad del equipo. Siendo muy útil para el diagnóstico de la hipoacusia (instaurada), el paciente que presente pérdida auditiva diagnosticada a través de este método, en el caso de la hipoacusia por ruido, no serán reversibles.

Se han desarrollado nuevas técnicas de estudio audiológico, como las otoemisiones acústicas, descubiertas por Kemp en 1978 (27,28), que las definió como fracciones de sonido, generadas por la actividad fisiológica

de la cóclea, las cuales pueden ser registradas en el conducto auditivo externo.

***Los productos de distorsión, son otoemisiones acústicas (Técnica implementada en la presente tesis doctoral)*** que se generan cuando la cóclea es estimulada con dos tonos puros de distinta frecuencia ( $f_1$  y  $f_2$ ), de forma que, como consecuencia de la no linealidad coclear, se origina un tercer tono con una frecuencia resultante de la aplicación de función matemática  $2f_1-f_2$  (32,33,34). Ponen una peculiaridad muy importante, según Attias y Colaboradores (39,40), buscaron la relación entre los umbrales auditivos por audiometría y la presencia de emisiones otoacústicas, en pacientes con hipoacusia inducida por ruido o sin ella, y encontraron que en los pacientes expuestos a ruido las emisiones estaban muy disminuidas, aun cuando los umbrales auditivos no mostraban cambios importantes, lo que demuestra que las emisiones otoacústicas representan una medida más exacta del daño coclear que está produciendo la exposición a ruido aún antes de que el paciente pueda percatarse de ello.

#### **Hipótesis:**

Los productos de distorsión/otoemisiones acústicas (DPOAEs) son una prueba importante para la valoración de la hipoacusia inducida por ruido (HIR), pudiéndose diagnosticar precozmente un daño coclear antes de que los trabajadores expuestos al ruido puedan percatarse del mismo y antes de que exista una disminución objetivable en la audiometría tonal, por lo que se podría introducir esta prueba diagnóstica, en los servicios de prevención de riesgos laborales, como un elemento predictor en la rutina exploratoria de los trabajadores expuestos al ruido.

#### **Objetivos:**

##### **Principal:**

Evaluar la capacidad predictiva de los productos de distorsión/otoemisiones acústicas (DPOAEs), en la detección temprana del deterioro de la función coclear, en presencia de un ambiente laboral expuesto al ruido.

### **Secundarios:**

1. Estudiar la población expuesta a ruido en el Hospital General Universitario Gregorio Marañón, dentro de su programa preventivo periódico, registrando la presencia o no de hipoacusia y su evolución, con el fin de mejorar la calidad en las actividades preventivas y así lograr el bienestar de sus trabajadores.
2. Estudiar el grado de asociación entre los productos de distorsión/otoemisiones acústicas y la audiometría en las diferentes frecuencias.
3. Estudiar si se pueden proponer modificaciones a las acciones preventivas realizadas en los exámenes de salud llevados a cabo por los Servicios de Prevención de Riesgos Laborales con la finalidad de mejorar la de la salud de los trabajadores.

**Material:** Bases de datos con mediciones higiénicas practicadas por el SPRL. (Cocina y lavandería). Mediciones hechas con sonómetro “DOSÍMETRO SIE 9501 dB LACAINAC”. Audiómetro AUDIO TEST 340, serie 15284, las pruebas se realizaron en una cabina insonorizada cumpliendo ambos las normativas requeridas para su utilización en la Unión Europea. Productos de distorsión/otoemisiones acústicas, se utilizó un equipo DPOAE20/TEOAE25, cumpliéndose las normativas vigentes de la unión europea. Tabulación de datos realizada a través de Excel y se usó el programa “SPSS Statistics versión 17.0.2” para los cálculos estadísticos.

### **Método:**

Estudio comparativo, prospectivo, se confrontaron los resultados registrados en las bases de datos de los exámenes de vigilancia de la salud específicos ante la exposición a ruido, **en dos años consecutivos**, de **todos** los trabajadores expuesto a este agente, en el hospital General Universitario Gregorio Marañón.

Se contó con la autorización por parte del SPRL y la autorización bajo consentimiento informado de todos los trabajadores incluidos en la muestra. Este estudio no implicó más procedimientos, al de las exploraciones recomendadas por la legislación actual en materia de vigilancia de la salud de los trabajadores frente a ruido.

Universo:

95 trabajadores expuestos a ruido, al revisar las bases de datos se desestimaron los que presentaban los siguientes criterios de exclusión previamente establecidos: Diagnóstico previo de patología otológica, hipoacusia ya diagnosticada, historia familiar de patología auditiva degenerativa, exposición previa y documentada a medicamentos y sustancias ototóxicas, antecedente de traumatismos craneoencefálico.

La primera base de datos analizada periodos entre septiembre del 2012 a abril 2013. Se recogió: Historia clínica laboral completa, donde se tomaron los antecedentes otorrinolaringológicos. Exploración clínica: Otoscopia: Donde se descartó patología timpánica, obstrucción de conducto auditivo externo. Audiometría: Reposo auditivo de mínimo de 12H. Puntos de análisis por frecuencia para vía aérea y ósea a: 1000Hz, 2000Hz, 3000Hz, 4000Hz, 6000Hz, 8000Hz. Productos de distorsión/otoemisiones acústicas (DPOAEs): Intensidad de estimulación de los tonos primarios, f1 y f2: 65 dB SPL. Puntos de análisis frecuencias correspondiente a: 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz, 6000Hz, 8000Hz.

Variables analizadas:

Sexo, edad, antecedentes personales:(Hipertensión arterial, diabetes mellitus, dislipidemia, antecedente tabáquico, presencia de acufenos), años de exposición al ruido, resultados de audiometría para cada oído (derecho e izquierdo) a las frecuencias: 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz, 6000Hz, 8000Hz, valoración de la pérdida de audición binaural, resultados de los valores de amplitud para los productos de distorsión/otoemisiones acústicas en dB SPL a 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz, 6000Hz, 8000Hz.

La segunda base de datos estudiada, periodos entre octubre del 2013 a mayo del 2014. (teniendo en cuenta mismo trabajador y mismos puestos de trabajo)

Al analizar los datos encontramos que, se habían perdido 25 sujetos, (26.3% de la muestra), debido al cierre de la lavandería, que llevo a la reubicación de los trabajadores a otros puestos en zonas libres de ruido.

*Quedando una población total de 70 trabajadores expuestos a ruido, con la cual trabajamos.*

Se consideró pérdida auditiva, según audiometría, todo valor superior a 25 dB (Clasificación superiores al tipo I, metodología de KLOCKHOFF modificada por la clínica Lavoro de Milán en 1979 y 2002).

Para las otoemisiones acústicas/productos de distorsión, los valores de amplitud inferiores a 6 dB SPL por frecuencia estudiada, fueron considerados como pérdida auditiva.

*Método estadístico:* Estudio descriptivo de las variables cuantitativas y cualitativas. Análisis de las hipótesis de interés mediante contrastes de hipótesis entre los resultados obtenidos a través de la audiometría (Gold estándar) y las otoemisiones acústicas (DPOAE). Adicionalmente y para dar mayor fuerza estadística, se comparó la muestra con los datos de los 37 trabajadores que no estaban expuesto al ruido en su jornada laboral. Por último, se expondrán los estadísticos Kappa, midiendo el grado de concordancia entre las evaluaciones nominales (audiometría Vs productos de distorsión), cuando se evalúan las mismas muestras (trabajadores).

## **Resultados:**

### **Descriptivos: Resultados en la población a estudio expuesta al ruido**

#### *Demográficos:*

La distribución por sexo: 64 (91,4%) mujeres y 6 (8.6%) hombres.

Edad media para esta serie fue de 48 años. La media de años expuestos al ruido fue de 14.7.

Antecedentes médicos estudiados: Hipertensión arterial (10%), diabetes mellitus (1.4%), dislipidemia (23%), antecedente tabáquico (7.1%) y la presencia de acufenos (7%). El resto de la población estudiada (51.4%) no presentaba los antecedentes médicos estudiados.

Para la pérdida auditiva binaural, tomando como Gold estándar la audiometría: Existe una pérdida auditiva con una media binaural de 14 dB al iniciar el estudio, que se mantiene estable con 15 dB en la última medición.

### **Resultados de la muestra NO expuesta al ruido (grupo control):**

#### *Demográficos:*

Distribución por sexo: 25 (67.6%) mujeres y 12 (32.4%) hombres. Edad media para esta serie fue 40 años.

Antecedentes médicos asociados, 2 (5.4 %) dislipidemia y 35 (94.6%), no relato ningún antecedente.

Para la pérdida auditiva binaural, tomando también como Gold estándar la audiometría: Existe una pérdida auditiva con una media binaural de 10 dB al iniciar el estudio, que se mantiene estable con 11 dB en la última medición.

### ***Estadística descriptiva, exploratoria y confirmatoria.***

#### ***Grupo de expuestos:***

- Se aprecia una tendencia creciente en cuanto al grado de asociación de las técnicas de diagnóstico a estudio, de tal forma que, a mayor “frecuencia” mayor concordancia entre los resultados de ambas pruebas, siendo para los casos de 1000Hz y 2000Hz nula dicha concordancia para todos los casos, es decir, tanto para oído izquierdo como derecho, tanto para basal como para final.
- De igual manera interpretamos los resultados del grado de asociación Kappa. El cual nos muestra mayor grado de asociación a “Frecuencias” agudas.
- Al evaluar la proporción de probabilidad (LR) para un resultado positivo (LR positivo) y para uno negativo (LR Negativo) obtuvimos: LR positivo entre 2.18 y 2.69 y LR Negativo entre 0.41 y 0.53 a los 4000 HZ. LR positivo entre 2.03 y 2.06 y LR Negativo entre 0.49 y 0.58 a los 6000 HZ. Estos resultados muestran que existe una pequeña diferencia, que podría ser relevante entre las otoemisiones acústicas y el Gold Estándar (audiometría), en el momento de la detección temprana de la hipoacusia por ruido.

#### ***Grupo NO expuesto al ruido (Control):***

- Para el caso del grupo control no encontramos ningún patrón en cuanto a la asociación de las pruebas, por lo que concluimos que para el grupo estudiado existe una relación dispar o aparentemente aleatoria para la concordancia de las pruebas diagnósticas.

### **Discusión:**

Según Seixas y colaboradores (2005), se espera que en los trabajadores expuesto a ambiente con niveles de ruidos elevado (85 – 90 LAeq,d) después de los primeros 3 años, se encuentren pérdidas auditivas para los 4000 Hz en la audiometría tonal entre 0.9 y 2 dB por año, de acuerdo a de modelos estandarizados para predicción de la hipoacusia por ruido (modelo ANSI). Mientras que para los productos de

Tesis Doctoral. Marco Javier Marzola Payares.

distorsión/otoemisiones acústicas se esperan pérdidas de amplitud del valor dB SPL entre los -0.4 y -0.5 dB por año.

Habiendo comprobado la utilidad del uso de los productos de distorsión y conociendo el modelo actual propuesto según el Real Decreto 286/2006, en orden a la vigilancia de la salud para niveles de ruido inferiores a  $LA_{eq,d}=85\text{dB(A)}$ , ***el cual recomienda controles audiométricos cada 5 años.***

Según nuestro estudio podíamos hablar de que estaríamos valorando a trabajadores con probarles pérdidas según audiometría de 4,5 dB aproximadamente para los 4000 HZ, en este periodo de tiempo.

También para los productos de distorsión/Otoemisiones acústicas haciendo referencia a  $LA_{eq,d}=85\text{dB(A)}$ , la pérdida de la amplitud de los dB SPL sería de -2dB en 5 años (en los 4000Hz).

A la vista de los resultados obtenidos en este trabajo de tesis doctoral podríamos establecer un protocolo de actuación recomendando, el uso de los productos de distorsión/otoemisiones como nueva herramienta sumada a las estrategias propuesta por el RD 286/2006.

El uso estaría indicado para el seguimiento de todos los trabajadores expuestos a niveles de ruido elevado entre:

**$LA_{eq,d}=80-85\text{dB(A)}$  y  $L_{pico}=135-137\text{dB(C)}$ .**

Al cumplir los 3 años de exposición, buscando pérdidas mayores de amplitud en los valores de dB SPL a las esperadas entre los -0.4 y -0.5 dB por año.

En el caso de que estas pérdidas de amplitud fuesen mayores a las esperadas, proponemos: Descartar factores extra laborales que puedan perjudicar la audición, nuevas mediciones higiénicas y de seguridad en el puesto de trabajo para confirmar los valores reales de ruido a los que se encuentra expuesto el trabajador, complementar estudio con audiometría diagnóstica y comparar sus resultados con la inicial, reforzar medidas educativas y formación del trabajador sobre el uso de EPI's, considerando la protección auditiva como obligatoria para su caso, clasificar al trabajador como probablemente sensible al ruido, programarlo para próximo control de Productos de distorsión y audiometría a los 5 años como estable en RD.

**En el caso valores entres  $LA_{eq,d}=85-87dB(A)$  y  $L_{pico}=137-140dB(C)$ .**

La legislación actual recomienda audiometrías de control cada 3 años, se propone:

Conociendo la posibilidad de detectar de forma precoz la afectación del trabajador con una prueba no cruenta y con una eficacia elevada se plantea como en el caso anterior:

Descartar factores extralaborales que puedan perjudicar la audición, realizar productos de distorsión/otoemisiones acústicas buscando las pérdidas de amplitud ya descritas, si estas mediciones superan los valores descritos esperados y la audiometría no presenta cambios significativos siendo considerada como normal, proponemos: Reforzar medidas educativas en formación del trabajador sobre el uso de EPI's, considerando la protección auditiva como obligatoria para su caso.

Tras el segundo control en los próximos tres años: Si los productos de distorsión/otoemisiones acústicas continuasen con pérdidas de amplitud por encima de los valores esperados (-2 dB en 5 años) y la audiometría se mantuviese sin cambio o con pérdidas inferiores a la esperadas para esta prueba en este periodo de tiempo (4,5 dB). Se propondría cambio de puesto para el trabajador, estudio, mejora de las condiciones higiénicas y de seguridad en el puesto de trabajo.

**Conclusiones:**

PRIMERA: Los productos de distorsión/otoemisiones acústicas (DPOAE), han demostrado en el presente estudio una asociación positiva y significativa en las frecuencias agudas: 4000 Hz, 6000Hz y 8000 Hz al ser comparada con la prueba Gold estándar (audiometría), para la detección de la hipoacusia asociada a ruido.

SEGUNDA: Los productos de distorsión/otoemisiones acústicas (DPOAE) han resultado de utilidad en la detección temprana de la hipoacusia a consecuencia de exposición al ruido.

TERCERA: La Media de la pérdida auditiva binaural por audiometría de los trabajadores expuesto a ruido en el Hospital General Universitario Gregorio Marañón es de 14 dB la cual se mantuvo estable con 15 dB tras pasar un año de exposición.



CUARTA: Los productos de distorsión/otoemisiones acústicas (DPOAE), se considera una prueba de detección precoz y como una herramienta útil y complementaria a la audiometría para el diagnóstico y seguimiento de los trabajadores expuestos a ruido.

QUINTA: Se considera podría ser de utilidad introducir la realización de los productos de distorsión de forma sistematizada en los exámenes de salud de los Servicios Prevención de Riesgos laborales.

## **ABSTRACT**

## 11. ABSTRACT

### **Prediction using distortion products of Hearing Impairment in Workers Exposed to Noise at Hospital General Universitario Gregorio Marañón.**

#### **Introduction:**

Noise-induced hearing loss is defined as decreased hearing ability in one or both ears, partial or total, permanent and cumulative, sensorineural type that gradually originates during and as a result of exposure to harmful levels of noise in the working environment, of a continuous or intermittent type of relatively high intensity ( $> 85$  dB) over a period Time.

In Spain noise is the most frequent environmental pollutant found in all sectors of activity, according to the statistics of occupational diseases declared before the ministry of labor in the last 10 years, occupies the third place of frequency after tendinopathies Overuse and secondary peripheral neuropathy pressure (10).

At present, the diagnosis and monitoring of workers exposed to noise is performed with audiometry, considered as Gold standard test, In spite of this it presents important disadvantages as they are, the subjectivity at the time of the test, to depend to a large extent on the answer given by the patient, as well as of the quality of the equipment (soundproofed booths according to legislation) and Its calibration, among others. Being very useful for the diagnosis of hearing loss (established), the patient who presents hearing loss diagnosed through this method, in the case of noise hearing loss, will not be reversible.

New techniques of audiological study have been developed, such as acoustic otoactions, were discovered by Kemp in 1978 (25,26), which defined them as fractions of sound, generated by the physiological activity of the cochlea, which can be recorded in the external auditory canal.

**The distortion products are otoacoustic emissions (Technique implemented in this doctoral thesis)** that are generated when the cochlea is stimulated with two pure tones of different frequency ( $f_1$  and  $f_2$ ), so that, as a consequence of cochlear nonlinearity, A third tone is generated with a frequency resulting from the application of mathematical function  $f_1-f_2$ (32,33,34). Have a very important peculiarity, according to Attias and

Collaborators (39,40), sought the relationship between auditory thresholds by audiometry and the presence of otoacoustic emissions, in patients with hearing-induced hearing loss or without it, and found that in the patients exposed to noise the emissions were greatly diminished, even though the auditory thresholds showed no significant changes, which shows that the otoacoustic emissions represent a more accurate measure of the cochlear damage that is producing the exposure to noise even before the patient can see it.

### **Hypothesis:**

Distortion products/otoacoustic emissions (DPOAEs) are important evidence for the assessment of noise-induced hearing loss (HIR), and early cochlear damage can be diagnosed before workers exposed to noise can detect it and before there is any An objective reduction in tonal audiometry, so that this diagnostic test could be introduced in the services of occupational risk prevention as a predictor element in the exploratory routine of workers exposed to noise.

### **Aims:**

First:

To evaluate the predictive capacity of acoustic distortion products/otoacoustic emissions (DPOAEs), in the early detection of deterioration of cochlear function, in the presence of a work environment exposed to noise.

Secondaries:

1. Study the population exposed to noise at the General Hospital Universitario Gregorio Marañón, within its periodic preventive program, recording the presence or absence of hearing loss and its evolution, in order to improve the quality of preventive activities and thus achieve well-being Of its workers.
2. To study the degree of association between distortion products/otoacoustic emissions (DPOAEs), and audiometry in the different frequencies.
3. To study if it is possible to propose modifications to the preventive actions carried out in the health examinations carried out by the Services of Prevention of Occupational Risks with the purpose of improving the health of the workers.

### **Material:**

Data bases where the hygienic measurements performed by the SPRL (Kitchen and laundry), are collected. Measurements made with sound level meter "SIE 9501 dB LACAINAC DOSIMETER". The audiometry: Audiometer AUDIO TEST 340, series 15284, tests were carried out in a soundproof cabin complying with both the regulations required for use in the European Union. Distortion products / acoustic oto-emissions, a DPOAE20 / TEOAE25 equipment was used, complying with the current regulations of the European Union. Tabulation of data made through Excel and the program "SPSS Statistics version 17.0.2" was used for statistical calculations.

### **Method:**

Comparative, prospective study, the results recorded in the databases of specific health surveillance examinations were compared with the exposure to noise, in two consecutive years, of all workers exposed to this agent, in the Hospital General Universitario Gregorio Marañón.

It was approved by the SPRL and authorized by informed consent of all workers included in the sample. It was approved by the SPRL and authorized by informed consent of all workers included in the sample. This study did not involve any more procedures than the explorations recommended by the current legislation on the monitoring of workers' health against noise.

### *Universe:*

95 workers exposed to noise, when reviewing the databases were rejected those who had some of the following exclusion criteria previously established: Prior diagnosis of otological pathology, hearing loss already diagnosed, family history of degenerative auditory pathology, prior documented exposure to drugs and ototoxic substances, history of traumatic brain injury.

The first database analyzed periods between September 2012 and April 2013. Was collected: Complete clinical history, where the otorhinolaryngological history was taken, Clinical examination: Otoscopy: Where discarded tympanic pathology, external auditory canal obstruction. Audiometry: Audit rest of at least 12H. Frequency analysis points for airway and bone at: 1000Hz, 2000Hz, 3000Hz, 4000Hz, 6000Hz, 8000Hz.

Distortion Products / Otoacoustic Emissions (DPOAEs): Stimulation intensity of the primary tones, f1 and f2: 65 dB SPL. Frequency analysis points corresponding to: 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz, 6000Hz, 8000Hz.

*Variables analyzed:*

Sex, age, personal history: (Hypertension, diabetes mellitus, dyslipidemia, smoking history, presence of tinnitus, years of exposure to noise, audiometry results for each ear (right and left) at frequencies: 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz, 6000Hz, 8000Hz. assessment of binaural hearing loss, results of amplitude values for distortion / oto-noise products in dB SPL at 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz, 6000Hz, 8000Hz.

The second database studied periods between October 2013 to May 2014. (taking into account the same worker and the same jobs)

In analyzing the data, we found that 25 subjects had been lost (26.3% of the sample) due to the closure of the laundry, which led to the relocation of workers to other positions in noise-free zones. *With a total population of 70 workers exposed to noise, with which we work.*

A hearing loss was considered, according to audiometry, any value higher than 25 dB (Classification superior to type I, KLOCKHOFF methodology modified by the Lavoro clinic in Milan in 1979 and 2002.

For distortion products / otoacoustic emissions (DPOAEs), amplitude values below 6 dB SPL per studied frequency were considered as hearing loss.

*Statistical method:*

Descriptive study of quantitative and qualitative variables, analysis of the hypotheses of interest through hypothesis contrasts between the results obtained through audiometry (Gold standard) and distortion products / Otoacoustic Emissions (DPOAE), In addition, and in order to give greater statesmanship, the sample was compared with the data of the 37 workers who were not exposed to noise during their working day, finally, the Kappa statistic will be presented, measuring the degree of agreement between the nominal evaluations (audiometry Vs distortion products), when the same samples are evaluated (workers).

## **Results:**

### **Descriptive: Results in the study population exposed to noise**

#### **Demographic:**

The distribution by sex: 64 (91.4%) women and 6 (8.6%) men. Mean age for this series was 48 years. The mean number of years exposed to noise was 14.7 .

Medical history studied: Hypertension (10%), diabetes mellitus (1.4%), dyslipidemia (23%), smoking history (7.1%) and tinnitus (7%). The rest of the studied population (51.4%) did not present the medical history studied.

For binaural hearing loss, using audiometry as the Gold standard: There is a hearing loss with a binaural mean of 14 dB at the start of the study, which is stable at 15 dB in the last measurement.

### **Results NO exposed to noise sample (control group):**

#### **Demographic:**

Distribution by sex: 25 (67.6%) women and 12 (32.4%) men. Average age for this series was 40 years.

Associated medical history, 2 (5.4%) dyslipidemia and 35 (94.6%), did not report any antecedent.

For binaural hearing loss, also taking audiometry as Gold standard: There is a hearing loss with a binaural mean of 10 dB at the start of the study, which is stable at 11 dB in the last measurement.

### **Descriptive, exploratory and confirmatory statistics.**

#### **Exposed group :**

- There is an increasing trend in the degree of association of diagnostic techniques to study, so that, in the case of 1000Hz and 2000Hz, there is a greater concordance between the results of both tests. All cases, that is, for both left and right ears, both basal and final.

- In the same way we interpret the results of the degree of Kappa association. Which shows us greater degree of association to "Frequencies" greater.
- When we evaluated the proportion of probability (LR) for a positive (positive LR) and negative (negative LR) we obtained: positive LR between 2.18 and 2.69 and negative LR between 0.41 and 0.53 at 4000 HZ. LR positive between 2.03 and 2.06 and LR Negative between 0.49 and 0.58 at 6000 HZ. These results show that there is a small difference, which could be relevant between acoustic otoactions and the Gold Standard (audiometry), at the time of the early detection of noise hearing loss.

### **NO exposed to noise Group (Control):**

For the case of the control group we did not find any pattern regarding the association of the tests, so we conclude that for the group studied there is a disparate or apparently random relationship for the concordance of the diagnostic tests.

### **Discussion:**

According to Seixas et al. (2005), it is expected that in workers exposed to an environment with high noise levels (85 - 90 LAeq, d) after the first 3 years, hearing loss for 4000 Hz will be detected in the tone audiometry between 0.9 and 2 dB per year, according to standardized models for noise hypoacusis prediction (ANSI model). While distortion products /otoacoustic emissions expect amplitude losses of the dB SPL value between -0.4 and -0.5 dB per year.

Having verified the utility of the use of distortion products and knowing the current model proposed according to Royal Decree 286/2006, in order to health surveillance for noise levels lower than LAeq, d = 85dB (A), which Recommends audiometric controls every 5 years.

According to our study we could say that we would be valuing workers with test losses according to audiometry of approximately 4,5 dB for the 4000 HZ, in this period of time.

Also for distortion products to LAeq, d = 85dB (A), the amplitude loss of dB SPL would be -2dB in 5 years (at 4000Hz).



Recommended for values between  $LA_{eq, d} = 85\text{dB (A)}$  and  $LA_{eq, d} = 87\text{dB (A)}$  audiometric control every 3 years, in which we should expect to lose those described per year.

In view of the results obtained in this dissertation work, we could establish a protocol of action recommending the use of distortion products / otoemissions as a new tool in addition to the strategies proposed by RD 286/2006.

Use would be indicated for the monitoring of all workers exposed to high noise levels between:

**$LA_{eq, d} = 80\text{-}85\text{dB (A)}$  and  $L_{pico} = 135\text{-}137\text{dB (C)}$ .**

At the end of the 3 years of exposure, looking for greater amplitude losses in the dB SPL values than expected, between  $-0.4$  and  $-0.5$  dB per year.

In the event that these amplitude losses were higher than expected, we propose: Discard extra work factors that may impair hearing, new hygienic and safety measures at the workplace to confirm the actual noise values to which the worker is exposed, complement study with diagnostic audiometry and compare its results with the initial one, strengthen educational measures and training of workers on the use of PPE's, considering hearing protection as mandatory for their case, classify the worker as probably noise-sensitive, program it for next control of Distortion and audiometry products at 5 years as stable in RD.

**In the case values between  $LA_{eq, d} = 85\text{-}87\text{dB (A)}$  and  $L_{pico} = 137\text{-}140\text{dB (C)}$ .**

The current legislation recommends audiometries of control every 3 years, it is proposed:

Knowing the possibility of early detection of the involvement of the worker with a non-violent test and with a high efficiency is posed as in the previous case: Discard extra-labor factors that may impair hearing, carry out distortion products / otoacoustic emissions looking for the amplitude losses already described (greater losses of amplitude in the expected SPB dB values between  $-0.4$  and  $-0.5$  dB per year), if these measurements exceed the values described and the audiometry does not present significant changes being considered as normal, we propose: Strengthen

educational measures in the training of workers on the use of PPE, considering hearing protection as mandatory for their case.

After the second the second control in the next three years: If the distortion products/ otoacoustic emissions continued with amplitude losses above the expected values (-2 dB in 5 years) and the audiometry remained unchanged or with losses lower than expected for this test in this period of time ( 4.5 dB). It would propose a change workstation for the worker, study, improvement of hygienic conditions and security in the workplace.

### **Conclusions:**

FIRST: Distortion products/ otoacoustic emissions (DPOAE) have demonstrated a positive and significant association in the acute frequencies: 4000 Hz, 6000 Hz and 8000 Hz when compared to the Gold standard test (audiometry) for the Detection of hearing loss associated with noise.

SECOND: Distortion products/ otoacoustic emissions (DPOAE) have proved useful in the early detection of hearing loss as a result of noise exposure.

THIRD: The average of the binaural hearing loss by audiometry of workers exposed to noise at the Hospital General Universitario Gregorio Marañón is 14 dB which was stable with 15 dB after passing a year of exposure.

FOURTH: Distortion products/ otoacoustic emissions (DPOAE) are considered as an early detection test and as a useful and complementary tool for audiometry for the diagnosis and monitoring of workers exposed to noise.

FIFTH: It is considered that it could be useful to introduce the realization of the distortion products in a systematic way in the health exams of the Occupational Risk Prevention Services.

## **BIBLIOGRAFÍA**

## 12. BIBLIOGRAFÍA

1. Sánchez Galán L, Rodríguez Ortiz de Salazar B. Revisión médico-legal y estado actual de la evaluación médica de la Hipoacusia profesional en el sistema español de la Seguridad Social. Medicina y seguridad del trabajo. 2005; Marzo No 198:7-20.
2. Hernández Díaz A, Méndez G, M B. Alteraciones auditivas en trabajadores expuestos al ruido industrial. Medicina y Seguridad del Trabajo. 2007. Septiembre No 208:09–19.
3. Bernardino Ramazzini. Tratado de las enfermedades de los trabajadores. Traducción comentada de la obra. De Morbis Artificum Diatriba. S. XVIII. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). España. Octubre 2011.
4. F L, Luis J, Restrepo O. H, Mendoza R. F, et al. Hipoacusia neurosensorial por ruido industrial y solventes orgánicos en la Gerencia Complejo Barrancabermeja, 1977-1997. Rev Fac Nac Salud Pública. 1997 Dec;15(1):94–120.
5. Martinez, Luis Felipe. Can you hear me now? Occupational Hearing loss, 2004–2010, Monthly Labor Review. July 2012, Office of Compensation and Working Conditions, Bureau of Labor Statistics.
6. Elizabeth A. Masterson, PhD; P. Timothy Bushnell, PhD; Christa L. Themann, MA ; Thais C. Morata, PhD. Hearing Impairment Among NoiseExposed Workers — United States, 2003–2012. Morbidity and Mortality Weekly Report Weekly / Vol. 65 / No. CDC. 15 April 22, 2016.
7. Androulla, M. Programación del HSE (Health and Safety Executive) para reducir el ruido en el trabajo en Reino Unido. El ruido en el trabajo. Magazine de la Agencia Europea Para la seguridad y Salud en el Trabajo. 2005.
8. Workand health in the EU. A statistical portrait 2003 EDITION Data 1994–2002.
9. Brenes, Roberto Urbina. Revista Médica de Costa Rica y Centroamérica, LXVIII (599) 447-453. 2011.
10. VII Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo, NIPO 272-12-039-5, INSHT. España. 2011.

- 11.Observatorio de enfermedades profesionales (CEPROSS) y de enfermedades causadas agravadas por el trabajo (PANOTRATSS), España. Informe anual 2015, 2013, 2012, 2011, 2010, 2009, 2008.
- 12.Protocolo de vigilancia específica, Ruido, Comisión de salud pública, consejo interterritorial del sistema nacional de salud. España.2000.
- 13.Nota Técnica de prevención (NTP) 270: Evaluación de la exposición al ruido. Determinación de niveles representativos, NIPO:211-92-011-6, INHT.
- 14.Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición al ruido - Año 2009, INSHT.
- 15.Nota Técnica de prevención (NTP) 795: Evaluación del ruido en ergonomía: criterio RC MARK II. NIPO: 792-08-008-8, INHT.
- 16.Dennis Kasper, Anthony Fauci, Stephen Hauser, Dan Longo, J. Larry Jameson, Joseph Loscalzo, Capitulo 43: Trastornos de la audición, Harrison principios de medicina interna. Vol 1. 19a ed. México: McGraw-Hill; 2016.
- 17.Nota Técnica de prevención (NTP) 287: Hipoacusia laboral por exposición a ruido: Evaluación clínica y diagnóstico, NIPO: 211-92-011-6, INHT.
- 18.Nota Técnica de prevención (NTP) 193: Ruido: vigilancia epidemiológica de los trabajadores expuestos, NIPO: 211-89-020-3. INSHT.
- 19.Hernández Sánchez H, Gutiérrez Carrera M. Hipoacusia inducida por ruido: estado actual. Revista Cubana de Medicina Militar. 2006 Dec ;35(4).
- 20.Guía de Atención Integral Basada en la Evidencia para Hipoacusia Neurosensorial Inducida por Ruido en el Lugar de Trabajo (GATI-HNIR), Ministerio de la Protección Social, Republica de Colombia, ISBN 978-958-98067-0-8, Bogotá 2006.
- 21.Dobie R. Prevention of Noise-induced Hearing Loss. Arch Otolaryngol Head Neck Surg. Apr. 1995; 121:385-391.
- 22.International Organization for Standardization. Acoustics: Determination of Occupational Noise Exposure and Estimation of Noise-Induced Hearing Impairment, ISO 1999. Geneva, Switzerland; 1999.

- 23.Almeida SIC de, Albernaz PLM, Zaia PA, Xavier OG, Karazawa EHI. Natural history of noise induced hearing loss. Revista da Associação Médica Brasileira. 2000 Jun;46(2):143–58.
- 24.Passchier-Vermeer W, Passchier WF. Noise Exposure and Public Health. Environmental Health Perspectives. 2000; 108:123–31.
- 25.Protocolo de diagnóstico y evaluación médica para hipoacusia inducida por ruido (SCTR). Protocolo No. 7. Protocolos de diagnósticos y evaluación médica para enfermedades ocupacionales. Comisión técnica médica, Gobierno de Perú. <ftp://ftp2.minsa.gob.pe/docconsulta/documentos/CT/nuevaversion/parte3.pdf>.
- 26.John R. Franks, Ph.D. Hearing measurement. National Institute for Occupational Safety and Health, World Health Organization. 1998.
- 27.Kemp DT. Stimulated Acoustic Emissions from the within auditory system. J Acoust Soc Am 1978; 64: 1386-1391.
- 28.Kemp DT. Evidence of mechanical nonlinearity and frequency selective wave amplification in the cochlea. Arch Otol Rhinol Larungol 1979; 224: 37-45.
- 29.Purdy S., Williams W., Guideline for diagnosing occupational noise-induced hearing loss, Part 3: Audiometric standards. Purdy & Williams: Guidelines for audiometry for diagnosis of NIHL. P: 1-59. November 2012. New Zealand.
- 30.Gorga, M. P., Neely, S. T., Bergman, B. M., Beauchaine, K. L., Kaminski, J. R., Peters, J., Schulte, L. and Jesteadt, W. (1993b) A comparison of transientevoled and distortion product otoacoustic emissions in normalhearing and hearingimpaired subjects. J Acoust Soc Am, 94, 2639 48.
- 31.Otoacoustic Emissions: Overview, Recording, Interpretation. 2016 Jun 28–13; Available from: <http://emedicine.medscape.com/article/835943-overview>.
- 32.Vinck B, Del Vel E, Xu Z, Van Cauwenbergue P. Distortion Product Otoacoustic Emissions: A Normative Study. Audiology 1996;35: 231-245.
- 33.Shupak A, Tal D, Sharoni Z, Oren M, Ravid A, Pratt H. Otoacoustic Emissions in Early Noise-Induced Hearing Loss. [Miscellaneous Article]. Otology & Neurotology. 2007 Sep;28(6):745–52.

34. Marshall L, Lapsley Miller JA, Heller LM. Distortion-Product Otoacoustic Emissions as a Screening Tool for Noise-Induced Hearing Loss. *Noise Health*. 2001;3(12):43–60.
35. Faulstich M, Kössl M. Evidence for multiple DPOAE components based upon group delay of the  $2f_1 - f_2$  distortion in the gerbil. *Hear Res*. 2000; 140 (1): 99-110.
36. Konomi U, Kanotra S, James AL, Harrison RV. Age related changes to the dynamics of contralateral DPOAE suppression in human subjects. *Journal of Otolaryngology - Head & Neck Surgery*. 2014.
37. Taylor W, Pearson J, Mair A, et al. Study of noise and hearing in jute weaving. *J Acoust Soc Am* 1965; 38:113–20.
38. Mensh BD, Lonsbury-Martin BL, Martin GK. Distortion-product emissions in rabbit: II. Prediction of chronic-noise effects by brief pure-tone exposures. *Hear Res* 1993; 70:65–72.
39. Attias J, Horovitz G, El-Hatib N, Nageris B. Detection and Clinical Diagnosis of Noise-Induced Hearing Loss by Otoacoustic Emissions. *Noise Health*. 2001;3(12):19–31.
40. Attias J, Furst M, Furman V, Reshef I, Horowitz G, Bresloff I. Noise-induced otoacoustic emission loss with or without hearing loss. *Ear Hear*. 1995 Dec;16(6):612–8.
41. Gorga, M. P., Neely, S. T. and Dorn, P. A. (1999) Distortion product otoacoustic emission test performance for a priori criteria and for multifrequency audiometric standards. *Ear Hear*, 20, 34562.
42. Sutton LA, Lonsbury-Martin BL, Martin GK, Whitehead ML. Sensitivity of distortion-product otoacoustic emissions in humans to tonal over-exposure: time course of recovery and effects of lowering L2. *Hear Res*. 1994 May;75(1-2):161–74
43. Marshall, L., Heller, L. M., Westhusin, L. J. and Lapsley Miller, J. A. (2000) TEOAE/DPOAE changes associated with developing NIHL. *Assoc. Res. Otolaryngol. Abs.* (pp. 66).
44. Morant Ventura A, Orts Alborch M, Fernández Julián E, Marco Algarra J. Capítulo 2, otoemisiones acústicas. *Audiología. Técnicas de Exploración. Hipoacusias neurosensoriales: Practica en ORL*. España. 2003.

45. De Kleine E, Wit HP, van Dijk P, Avan P. The behavior of spontaneous otoacoustic emissions during and after postural changes. *J Acoust Soc Am*. 2000; 107 (6): 3308-16.
46. Gorga, M. P., Neely, S. T., Ohlrich, B., Hoover, B., Redner, J. and Peters, J. (1997) From laboratory to clinic: a large-scale study of distortion product otoacoustic emissions in ears with normal hearing and ears with hearing loss. *Ear Hear*, 18, 440-55.
47. REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. BOE nº 60 11-03-2006.
48. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales.
49. Directiva 2003/10/CE del parlamento europeo y del consejo de 6 de febrero de 2003 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido) (decimoséptima Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE), (DO L 42 de 15.2.2003, p. 38).
50. Manual de actuación para médicos del INSS, instituto nacional de la seguridad social, España. edición 2011.
51. Klockhoff, I., Drettner, B., Hagelin, K.W. and Lindholm., L. A method for computerized classification of pure tone screening audiometry results in noise-exposed groups. *Acta Otoraryng* 1973, 75: 339-340.
52. Merluzzi, F., Cornacchia L., Parigi G., Terrana, T.. Metodologia di esecuzione del controllo dell'udito dei lavoratori esposti al rumore. *Arch. Otol.*, 1979; 4: 695-714.
53. Real Decreto 1971/1999, de 23 de diciembre, de procedimiento para el reconocimiento, declaración y calificación del grado de minusvalía.
54. Ruido mediciones higiénicas, Lavandería Informe de ruido, Hospital General Universitario Gregorio Marañón, 8 de septiembre de 2010.
55. Ruido mediciones higiénicas, Cocina central, Hospital General Universitario Gregorio Marañón, 20 de octubre de 2010.



56. Pautas Internacionales para la Evaluación Ética de los Estudios Epidemiológicos Preparado por el Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas (CIOMS) en colaboración con la Organización Mundial de la Salud (OMS). Ginebra 1991. Publicado originalmente en inglés por CIOMS, con el título "International Guidelines for Ethical Review of Epidemiological Studies".
57. Job A, Raynal M, Kossowski M, Studler M, Ghernaouti C, Baffioni-Venturi A, et al. Otoacoustic detection of risk of early hearing loss in ears with normal audiograms: a 3-year follow-up study. *Hear Res.* 2009 May;251-62.
58. Seixas N, Goldman B, Sheppard L, Neitzel R, Norton S, Kujawa S. Prospective noise induced changes to hearing among construction industry apprentices. *Occup Environ Med* [Internet]. 2005 May;62(5):309–17.
59. ANSI. Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment, S3.44–1996. New York: American National Standards Institute, 1996.
60. Rubak T, Kock SA, Koefoed-Nielsen B, Bonde JP, Kolstad HA. The risk of noise-induced hearing loss in the Danish workforce. *Noise Health.* 2006 Apr–Jun;8(31):80–7.
61. Nota Técnica de prevención (NTP) 136: Valoración del trauma acústico, NIPO: 211 -86-023-6. INSHT..
62. Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, BOE nº 97, de 23 de abril, España. Por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
63. Reglamento (CE) No 1338/2008 del parlamento europeo y del consejo de 16 de diciembre de 2008 sobre estadísticas comunitarias de salud pública y de salud y seguridad en el trabajo.
64. Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajo, INSHT, 2015. España.
65. M.P. Rivas Lacarte, González Compta M., Gil Hermoso A., Rispau Falgàsc S., Moreno Molinac. Audiometría: definición, tipos y utilidad diagnóstica y clínica. *JANO EMC Ciencia, tecnología y medicina.* Volumen 56 - Número 1310, 10 septiembre 1999, p. 59.

66. Lapsley Miller JA, Marshall L, Heller LM, Hughes LM. Low-level otoacoustic emissions may predict susceptibility to noise-induced hearing loss. *J Acoust Soc Am*. 2006 Jul;120(1):280–96.
67. Mehrparvar AH, Mirmohammadi SJ, Davari MH, Mostaghaci M, Mollasadeghi A, Bahaloo M, et al. Conventional Audiometry, Extended High-Frequency Audiometry, and DPOAE for Early Diagnosis of NIHL. *Iran Red Crescent Med J*. 2014 Jan ;16(1).
68. Meinke DK, Clavier OH, Norris J, Kline-Schoder R, Allen L, Buckey JC. Distortion product otoacoustic emission level maps from normal and noise-damaged cochleae. *Noise Health*. 2013 Sep–Oct;15(66):315–25.
69. Mata Peñuela J. Evaluación de la hipoacusia por ruido mediante otoemisiones acústicas. *Revista Mapfre Medicina*. 2000 Vol.11, No. 2 <http://sid.usal.es> S de I sobre D usal es-. Evaluación de la hipoacusia por ruido mediante otoemis... (SID) [Internet]. Available from: <http://sid.usal.es/5233/8-2-6>.
70. Venet T, Campo P, Rumeau C, Thomas A, Parietti-Winkler C. One-day measurement to assess the auditory risks encountered by noise-exposed workers. *Int J Audiol*. 2014 Oct;53(10):737–44.
71. S.H C, Reddy P, M M K, Khavasi P, Doddamani SS. Alterations in Cochlear Function after Exposure to Short Term Broad Band Noise Assessed by Otoacoustic Emissions. *J Clin Diagn Res* [Internet]. 2014 Sep;8(9).
72. Montoya, Francisco Santaolalla; Ibargüen, Agustín Martínez; Vences, Ana Rodríguez; del Rey, Ana Sánchez; Sánchez Fernández, Jose María. Evaluation of cochlear function in normal hearing Young adult exposed to MP3 player noise by analyzing transient evoked otoacoustics emissions and distortion products. *Journal of Otolaryngology -- Head & Neck Surgery*. Oct2008, Vol. 37 Issue 5, p718-724. 7p.
73. Marques FP, Costa EA da. Exposure to occupational noise: otoacoustic emissions test alterations. *Revista Brasileira de Otorrinolaringologia* [Internet]. 2006 Jun ;72(3):362–6.

74. Seixas NS, Kujawa SG, Norton S, Sheppard L, Neitzel R, Slee A. Predictors of hearing threshold levels and distortion product otoacoustic emissions among noise exposed young adults. *Occupational and Environmental Medicine* [Internet]. 2004 Nov 1;61(11):899–907.
75. Ferré Rey J, Morelló-castro G. Valoración de las otoemisiones acústicas en la presbiacusia. *Acta Otorrinolaringol Esp* [Internet]. Feb 26];177–82.
76. Sallustio V, Portalatini P, Soleo L, Cassano F, Pesola G, Lasorsa G, et al. Auditory dysfunction in occupational noise exposed workers. *Scand Audiol Suppl*. 1998; 48:95–110.
77. Morant Ventura, A., Mata Peñuela, JJ., Orts Alborch, M., Postigo Madueño, A. y Marco Algrra, J. Aplicación de los productos de distorsión acústica en la patología del ruido. *Anales ORL. Iber-Amer.* XXVII, 4, 341-352 (2000).
78. Attias J, Bresloff I, Reshef I, Horowitz G, Furman V. Evaluating noise induced hearing loss with distortion product otoacoustic emissions. *Br J Audiol*. 1998 Feb;32(1):39–46.
79. Norma UNE 74-023-92. Acústica-Determinación de la exposición al ruido en el trabajo y estimación de las pérdidas auditivas inducidas por el ruido. Enero 1992.
80. Norma Europea EN:26-189 equivalente a Norma UNE 74-151-92 y Norma ISO 6189:1983. UE. Acústica-Audiometría limitar tonal por vía aérea a efectos de la conservación de la audición. Febrero 1992.
81. Gorga, M. P., Stover, L., Neely, S. T. and Montoya, D. (1996) The use of cumulative distributions to determine critical values and levels of confidence for clinical distortion product otoacoustic emission measurements. *J Acoust Soc Am*, 100, 968-77.
82. Zare S, Nassiri P, Monazzam MR, Pourbakht A, Azam K, Golmohammadi T. Evaluation of Distortion Product Otoacoustic Emissions (DPOAEs) among workers at an Industrial Company exposed to different industrial noise levels in 2014. *Electron Physician*. 2015 Jul;7(3):1126–34.

83. Mehrparvar AH, Mirmohammadi SJ, Davari MH, Mostaghaci M, Mollasadeghi A, Bahaloo M, et al. Conventional Audiometry, Extended High-Frequency Audiometry, and DPOAE for Early Diagnosis of NIHL. *Iran Red Crescent Med J* 2014 Jan 16(1).
84. Baradarnfar MH, Karamifar K, Mehrparvar AH, Mollasadeghi A, Gharavi M, Karimi G, et al. Amplitude changes in otoacoustic emissions after exposure to industrial noise. *Noise Health*. 2012 Jan–Feb;14(56):28–31.
85. Sliwinska-Kowalska M, Kotylo P. Otoacoustic emissions in industrial hearing loss assessment. *Noise and Health [Internet]*. 2001;3(12):75.
86. Hall AJ, Lutman ME. Methods for early identification of noise-induced hearing loss. *Audiology*. 1999 Sep–Oct;38(5):277–80.
87. Vinck B, Van Cauwenberge P, Leroy L, Corthals P. Sensitivity of TAOEs and DPOAEs to the direct effects of noise on the human cochlea. *Audiology* 1999; 38: 44-52.
88. Arnold DJ, Lonsbury-Martin BL, Martin GK. High-frequency hearing influences lower-frequency distortion-product otoacoustic emissions. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 1999 Feb;125(2):215–22.
89. Desai A, Reed D, Cheyne A, Richards S, Prasher D. Absence of otoacoustic emissions in subjects with normal audiometric thresholds implies exposure to noise. *Noise Health*. 1999;1(2):58–65.
90. Sataloff RT, Sataloff J. Audiologic testing: an overview for occupational physicians. *Occup Med*. 1997 Jul–Sep;12(3):433–47.
91. Bailey T, Graham S, Winston M. Hearing aid dispensing in the otolaryngological audological clinic. *Arch. Otolaryngol*. Vol 103, Nov. 1977.
92. Wilmot TJ. The meaning of modern audiological tests in relation to noise-induced deafness: a review. *Br J Ind Med [Internet]*. 1972 Apr ;29(2):125–33.
93. J. Hall III, J, Adlin D, May K. *Maico Diagnostics, A Guide to Otoacoustic Emissions (OAEs) for Physicians*. 2009. USA.
94. Kemp DT. Otoacoustic emissions, their origin in cochlear function, and use. *Br Med Bull*. 2002;63: 223–41.

95. Guide for the evaluation of hearing handicap. American Academy of Otolaryngology, Committee on Hearing and Equilibrium; American Council of Otolaryngology, Committee on the Medical Aspects of Noise. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1979 Jul–Aug;87(4):539–51.
96. Callejo G, Javier F. Medida de la pérdida auditiva. Ecuación para su cálculo: Respuesta. *Acta Otorrinolaringol Esp* [Internet]. [cited 2017 Feb 26];171–2.
97. Serra MR, Biassoni EC, Hinalaf M, Abraham M, Pavlik M, Villalobo JP, et al. Hearing and loud music exposure in 14-15 years old adolescents. *Noise and Health.* 2014 9–1;16(72):320.
98. Biassoni EC, Serra MR, Hinalaf M, Abraham M, Pavlik M, Villalobo JP, et al. Hearing and loud music exposure in a group of adolescents at the ages of 14-15 and retested at 17-18. *Noise Health.* 2014 Sep–Oct;16(72):331–41.
99. Comparación de Emisiones Otoacústicas Producto de Distorsión en Individuos Expuestos y No Expuestos a Ruido Ocupacional [Internet]. Prevención Integral & ORP Conference. 2013. Available from: <https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2006/comparacion-emisiones-otoacusticas-producto-distorsion-en-individuos-expuestos-no-expuestos-ruido>.
100. Job A, Nottet J-B. DPOAEs in young normal-hearing subjects with histories of otitis media: evidence of sub-clinical impairments. *Hear Res.* 2002 May;167(1-2):28–32.
101. Shupak A, Zeidan R, Shemesh R. Otoacoustic emissions in the prediction of sudden sensorineural hearing loss outcome. *Otol Neurotol.* 2014 Dec;35(10):1691–7.
102. Moussavi-Najarkola SA, Khavanin A, Mirzaei R, Salehnia M, Muhammadnejad A, Akbari M. Temporary and permanent level shifts in distortion product otoacoustic emissions following noise exposure in an animal model. *Int J Occup Environ Med.* 2012 Jul;3(3):145–52.
103. Instituto Regional de Seguridad y Salud en el Trabajo, Consejería de empleo y mujer, Comunidad de Madrid. *Hipoacusia Laboral.* España. 2006.
104. Suter A, Capítulo 47, ruido. *Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo.* Encyclopaedia of Occupational Health and

- Safety [Internet].2012 Available from: [http://www.ilo.org/safework/info/publications/WCMS\\_113329/lang--en/index.htm](http://www.ilo.org/safework/info/publications/WCMS_113329/lang--en/index.htm).
105. Batlle ES. Hipoacusia neurosensorial inducida por ruido. Revista de Logopedia, Foniatría y Audiología [Internet]. 2007 Oct;27(4):204–6.
  106. Viaje al mundo de la audición [Internet]. Available from: <http://www.cochlea.eu/es>.
  107. Noise-induced hearing loss in marine mammals: A review of temporary threshold shift studies from 1996 to 2015. The Journal of the Acoustical Society of America.2015 Sep;138(3):1702–26.
  108. Análisis detallado de sensibilidad y especificidad [Internet]. Xlstat, Your data analysis solution. Available from: <https://www.xlstat.com/es/soluciones/funciones/analisis-detallado-de-sensibilidad-y-especificidad>.
  109. Federico Miyara. Estimación del riesgo auditivo por exposición a ruido según la Norma ISO 1999 : 1990. IRAM - Instituto Argentino de Normalización.
  110. Job A, Nottet J-B. DPOAEs in young normal-hearing subjects with histories of otitis media: evidence of sub-clinical impairments. Hear Res. 2002 May;167(1-2):28–32.
  111. Carmona Barranco C., Félez Bueno C., Tutorial Legislativo del ruido laboral. Proyecto ruido. Laboratorio virtual para la formación telemática vía WEB de técnicos en prevención de riesgos laborales: Ruido laboral. Universidad de Córdoba-España. [http://rabfis15.uco.es/proyectoruido/Descargables/Tutorial\\_Ruido.pdf](http://rabfis15.uco.es/proyectoruido/Descargables/Tutorial_Ruido.pdf). <http://rabfis15.uco.es/proyectoruido/>.
  112. Abdala C, Dhar S: Maturation and aging of the human cochlea: a view through the DPOAE looking glass. J Assoc Res Otolaryngol 2012, 13:403–421.
  113. Kimberley BP, Hernadi I, Lee AM, Brown DK: Predicting pure tone thresholds in normal and hearing-impaired ears with distortion product emission and age. Ear Hear 1994, 15:199–209.
  114. Sun X-M, Kim DO: Adaptation of 2f1– 2f2 distortion product otoacoustic emission in young-adult and old CBA and C57 mice. J Acoust Soc Am 1999, 105:3399–3409.

115. Kim S, Frisina DR, Frisina RD: Effects of age on contralateral suppression of distortion product otoacoustic emissions in human listeners with normal hearing. *Audiol Neurotol* 2002, 7:348–357.
116. Collet L, Veuillet E, Berger-Vachon C, Morgon A: Evoked otoacoustic emissions: relative importance of age, sex and sensorineural hearing-loss using a mathematical model of the audiogram. *Int J Neurosci* 1992, 62:113–122.
117. Keppler H, Dhooge I, Corthals P, Maes L, D'haenens W, Bockstael A, Philips B, Swinnen F, Vinck B: The effects of aging on evoked otoacoustic emissions and efferent suppression of transient evoked otoacoustic emissions. *Clin Neurophysiol* 2010, 121:359–365.
118. Bassim MK, Miller RL, Buss E, Smith DW: Rapid adaptation of the 2f1-f2 DPOAE in humans: binaural and contralateral stimulation effects. *Hear Res* 2003, 182:140–152.
119. Maison S, Durrant J, Gallineau C, Micheyl C, Collet L: Delay and temporal integration in medial olivocochlear bundle activation in humans. *Ear Hear* 2001, 22:65–74.
120. Kemp DT, Souter M: A new rapid component in the cochlear response to brief electrical efferent stimulation: CM and otoacoustic observations. *Hear Res* 1988, 34:49–62.
121. McFadden SL, Campo P, Quaranta N, Henderson D: Age-related decline of auditory function in the chinchilla (*Chinchilla laniger*). *Hear Res* 1997, 111:114–126.
122. Avan, P., Loth, D., Menguy, C., Teyssou, M., 1990. Evoked otoacoustic emissions in guinea pig: basic characteristics. *Hear. Res.* 44, 151–160.
123. Dorn, P.A., Piskorski, P., Gorga, M.P., Neely, S.T., Keefe, D.H., 1999. Predicting audiometric status from distortion product otoacoustic emissions using multivariate analyses. *Hear. Res.* 20, 149–163.
124. Gorga, M.P., Nelson, K., Davis, T., Dorn, P.A., Neely, S.T., 2000. Distortion product otoacoustic emission test performance when both 2f1-f2 and 2f2-f1 are used to predict auditory status. *J. Acoust. Soc. Am.* 107, 2128–2135.

125. Neely, S.T., Gorga, M.P., Dorn, P.A., 2003. Cochlear compression estimates from measurements of distortion-product otoacoustic emissions. *J. Acoust. Soc. Am.* 114, 1499–1507.
126. Swanepoel de, W., Hugo, R., Louw, B., 2006. Infant hearing screening at immunization clinics in South Africa. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* 70, 1241–1249.
127. Wagner, W., Heppelmann, G., Vonthein, R., Zenner, H.P., 2008. Test-retest repeatability of distortion product otoacoustic emissions. *Ear. Hear.* 29, 378–391.
128. LePage EL, Murray NM. Latent cochlear damage in personal stereo users: a study based on click-evoked otoacoustic emissions. *Med J Aust* 1998; 169: 588-92
129. Hood LJ, Berlin CI, Hurley A, Cecola RP, Bell B. Contralateral suppression of transient-evoked otoacoustic emissions in humans: intensity effects. *Hear Res* 1996; 101:113-8
130. Konopka W, Pawlaczyk-Luszczyńska M, Sliwinska-Kowalska M, Grzanka A, Zalewski P. Effects of impulse noise on transiently evoked otoacoustic emissions in soldiers. *Int J Audiol* 2005; 44:3-7.
131. Withnell RH, Yates GK, Kirk DL. Changes to low-frequency components of the TEOAE following acoustic trauma to the base of the cochlea. *Hear Res* 2000; 139:1-12.
132. Avan P, Bonfis P. Distortion-product otoacoustic emission spectra and high-resolution audiometry in noise-induced hearing loss. *Hear Res* 2005;209: 68-75.
133. Suter A. Construction noise: exposure, effects and the potential for remediation; a review and analysis. *Am Ind Hyg Assoc J* 2002; 63:768–89.
134. Johnson DL. Field studies: industrial exposures. *J Acoust Soc Am* 1991; 90:170–4.
135. Dallos P. The active cochlea. *J Neurosci* 1992; 12:4575–85.
136. Brown AM, McDowell B, Forge A. Acoustic distortion products can be used to monitor the effects of chronic gentamicin treatment. *Hear Res* 1989;42: 143–56.
137. Prasher D, Sulkowski W. The role of otoacoustic emissions in screening and evaluation of noise damage. *Int J Occup Med Environ Health* 1999;12: 183–92.



138. Sliwinska-Kowalska M, Zamyslowska-Szmytko E, Szymczak W, et al. Ototoxic effects of occupational exposure to styrene and co-exposure to styrene and noise. *J Occup Environ Med* 2003; 45:15–24.
139. Kapadia, S. and Lutman, M. E. (1997) Are normal hearing thresholds a sufficient condition for click-evoked otoacoustic emissions? *J Acoust Soc Am*, 101, 356-67.
140. Oeken, J. and Menz, D. (1996) Amplitude changes in distortion products of otoacoustic emissions after acute noise exposure. *Laryngorhinootologie*, 75, 26-59.
141. Smurzynski, J. and Kim, D. O. (1992) Distortion product and click-evoked otoacoustic emissions of normally hearing adults. *Hear Res*, 58, 227-40.
142. Talmadge, C. L., Long, G. R., Tubis, A. and Dhar, S. (1999) Experimental confirmation of the two-source interference model for the fine structure of distortion product otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am*, 105, 2759-2.
143. Naqvi F, Haider S, Batool Z, Perveen T, Haleem DJ. Sub-chronic exposure to noise affects locomotor activity and produces anxiogenic and depressive like behavior in rats. *Pharmacol Rep*. 2012;64(1):64–9.
144. Schindler DN, Jackler RK, Robinson ST. Hearing loss. In: LaDou J, editor. *CURRENT Occupational & Environmental Medicine: Fourth Edition*. New York: McGraw-hill; 2007. p. 104–20.
145. Singh R, Saxena RK, Varshney S. Early detection of noise induced hearing loss by using ultra high frequency audiometry. *Int J Otorhinolaryngol*. 2009;10(2):1–5.
146. Beahan N, Kei J, Driscoll C, Charles B, Khan A. High-frequency pure-tone audiometry in children: a test-retest reliability study relative to ototoxic criteria. *Ear Hear*. 2012;33(1):104–11.
147. Turkkahraman S, Gok U, Karlidag T, Keles E, Ozturk A. Findings of standard and high-frequency audiometry in workers exposed to occupational noise for long durations. *Kulak Burun Bogaz Ihtis Derg*. 2003;10(4):137–42.

148. Al-Malky G, Suri R, Dawson SJ, Sirimanna T, Kemp D. Aminoglycoside antibiotics cochleotoxicity in paediatric cystic fibrosis (CF) patients: A study using extended high-frequency audiometry and distortion product otoacoustic emissions. *Int J Audiol*. 2011;50(2):112–22.
149. Korres GS, Balatsouras DG, Tzagaroulakis A, Kandiloros D, Ferekidou E, Korres S. Distortion product otoacoustic emissions in an industrial setting. *Noise Health*. 2009;11(43):103–10.
150. Sliwinska-Kowalska M, Kotylo P. Occupational exposure to noise decreases otoacoustic emission efferent suppression. *Int J Audiol*. 2002;41(2):113–9.
151. Erminy M, Avan P, Bonfils P. Characteristics of the acoustic distortion product  $2f_2 - f_1$  from the normal human ear. *Acta Otolaryngol* 1998;118:326-32.
152. Moulin A, Collet L, Veuillet E, Morgon A. Interrelations between transiently evoked otoacoustic emissions, spontaneous otoacoustic emissions and acoustic distortion products in normally hearing subjects. *Hear Res* 1993;65:216-33.
153. Meinke DK, Stagner BB, LonsburyMartin BL, Martin GK. Detailed DPOAE level/phase maps in normal and noise damaged human ears. *Am Audit Soc Bull* 2006;31:31-41.
154. Knight RD, Kemp DT. Wave and place fixed DPOAE maps of the human ear. *J Acoust Soc Am* 2001;109:1513-25.